



**Universidade do Minho**  
Escola de Engenharia

João André Vieira Cardoso

**A influência da utilização de um  
exoesqueleto passivo nos fatores de risco de  
lesões musculoesqueléticas durante tarefas  
industriais**

Dissertação de Mestrado

Mestrado em Engenharia Humana

Trabalho efetuado sob a orientação da

Professora Doutora Ana Sofia de Pinho Colim

Outubro 2019

## **DIREITOS DE AUTOR E CONDIÇÕES DE UTILIZAÇÃO DO TRABALHO POR TERCEIROS**

Este é um trabalho académico que pode ser utilizado por terceiros desde que respeitadas as regras e boas práticas internacionalmente aceites, no que concerne aos direitos de autor e direitos conexos.

Assim, o presente trabalho pode ser utilizado nos termos previstos na licença abaixo indicada.

Caso o utilizador necessite de permissão para poder fazer um uso do trabalho em condições não previstas no licenciamento indicado, deverá contactar o autor, através do RepositóriUM da Universidade do Minho.



**Atribuição-NãoComercial-SemDerivações**  
**CC BY-NC-ND**

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

## AGRADECIMENTOS

Uma dissertação de mestrado é um percurso sinuoso permeado de inúmeros desafios, incertezas, alegrias e muitos percalços pelo caminho. É também um percurso que reúne contributos de várias pessoas, sem as quais seria impossível a sua realização. A essas pessoas, dedico este projeto.

Especialmente à minha orientadora, Professora Doutora Ana Colim, que acreditou em mim desde o início. Agradeço o apoio, incentivo e orientação metódica pautada por um elevado rigor científico e que sem dúvida contribuiu de forma inequívoca para o enriquecimento de todas as etapas subjacentes ao trabalho realizado.

À empresa que disponibilizou as suas instalações para a realização deste estudo. Em especial, ao Nuno Sousa, pela partilha de conhecimentos e auxílio durante todo o percurso. Agradeço também aos trabalhadores, que voluntariamente, participaram neste estudo, pois sem eles a execução deste trabalho não seria viável.

À minha família, sobretudo à minha mãe e ao meu irmão, por terem acreditado nas minhas capacidades mesmo quando eu não o fazia e por atenderam aos meus pedidos sempre que me viam sobrecarregado de trabalho.

À minha namorada, Ângela, por todo o amor e compreensão. Por ser um porto de abrigo nos dias menos bons e sobretudo por ter estado presente e ter contribuído para os dias melhores.

A todos os meus amigos pela amizade e diversas formas de preocupação e incentivo no decorrer deste trabalho. Em especial à fisioterapeuta Patrícia, por todo o auxílio prestado. Agradeço também à Sílvia e à Daniela pelas longas horas de partilha durante a escrita desta dissertação.

A todas as outras pessoas que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

## DECLARAÇÃO DE INTEGRIDADE

Declaro ter atuado com integridade na elaboração do presente trabalho académico e confirmo que não recorri à prática de plágio nem a qualquer forma de utilização indevida ou falsificação de informações ou resultados em nenhuma das etapas conducente à sua elaboração.

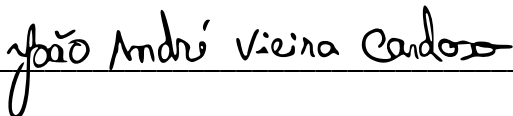
Mais declaro que conheço e que respeitei o Código de Conduta Ética da Universidade do Minho.

Universidade do Minho, 30 de outubro de 2019

Nome completo:

João André Vieira Cardoso

Assinatura:

\_\_\_\_\_



## RESUMO

Nas sociedades industrializadas os problemas musculoesqueléticos têm aumentado progressivamente. De maneira a diminuir a incidência desta problemática têm surgido dispositivos auxiliares denominados de exoesqueletos. Neste âmbito, estudos prévios têm avaliado a influência dos exoesqueletos nos fatores de risco de Lesões Musculoesqueléticas Relacionadas com o Trabalho (LMERT). Contudo, grande parte desses avaliam estes equipamentos em tarefas simuladas em laboratório, existindo por isso alguma controvérsia relativamente ao seu uso em contextos reais de trabalho. Pelo exposto, o objetivo central desta dissertação é avaliar a influência de um exoesqueleto passivo nos fatores de risco de LMERT em tarefas industriais de flexão de tronco, numa indústria de fabricação de mobiliário em Portugal. Com esse propósito, recolheram-se dados qualitativos e quantitativos designadamente, psicofísicos, de avaliação postural, e eletromiográficos antes e durante a utilização de um exoesqueleto passivo de suporte lombar. Os resultados do estudo psicofísico sugerem que os trabalhadores ao utilizarem o exoesqueleto, apesar de considerarem que o equipamento reduz a força exercida pelas costas, os influencia negativamente na realização das tarefas. Estes sentem também desconforto na região do pescoço, ombros, região torácica, ancas e coxas. Os resultados de avaliação postural, obtidos através da técnica *Rapid Entire Body Assessment* (REBA), demonstram que, de uma maneira geral, o nível de risco de LMERT se mantém com a utilização do exoesqueleto, comparativamente à realização da mesma tarefa sem a utilização do mesmo. Por fim, os resultados eletromiográficos demonstram que com a utilização do exoesqueleto existe uma diminuição da atividade muscular entre 0,8% a 3,8% dos músculos das costas. Globalmente, os resultados obtidos apontam para que a utilização do exoesqueleto passivo usado neste estudo não diminuiu significativamente a exposição ao risco de LMERT. Contudo, também não se encontraram resultados que atestam o oposto. Desta forma, pode-se concluir que este exoesqueleto não é particularmente útil nas tarefas industriais testadas, uma vez que existe a alternância postural em ciclos curtos. Verificou-se também que para estas tarefas o exoesqueleto interfere na sua realização devido ao choque das hastes do equipamento em certos locais do posto de trabalho. Assim, a utilização deste equipamento deve ser orientada para contextos industriais em que as tarefas exijam a manutenção e/ou a repetição da flexão sagital do tronco, sem a realização de outros movimentos, como a rotação ou a inclinação lateral.

## PALAVRAS-CHAVE

Exoesqueleto passivo; Flexão do tronco; Indústria; Lesões musculoesqueléticas; Tarefas industriais.

## ABSTRACT

The number of cases of musculoskeletal disorders has been progressively increasing specifically in industrialized societies. In order to reduce the incidence of musculoskeletal disorders, new auxiliary devices called exoskeletons have been introduced. Several studies have attempted to evaluate the impact of exoskeletons on Work-Related Musculoskeletal Disorders (WMSD) risk factors. However, most of these studies evaluated this type of equipment in simulated tasks set in a laboratory. Therefore, there is still some controversy regarding the use in real work context. With this dissertation, we aim to assess the effect of a passive exoskeleton on WMSDs risk factors in industrial trunk bending tasks in a furniture manufacturing industry in Portugal. For this purpose, qualitative and quantitative data were collected - namely psychophysical, postural assessment, and electromyographic data before and during the use of a passive back support exoskeleton. The psychophysical results suggest that workers wearing the exoskeleton, it negatively influences during the tasks, even though workers considered that the equipment reduced the strain on their backs. Moreover, workers reported they felt discomfort in the neck, shoulders, thoracic, hip and thigh regions. Overall, the results of postural assessment, obtained through the *Rapid Entire Body Assessment* technique (*REBA*), showed that the WMSD risk level remains with the use of the exoskeleton compared to performing the same task without using it. Finally, the electromyographic results demonstrated that with the use of the exoskeleton there is a decrease in muscle activity between 0.8% and 3.8% of the back muscles. Globally, the results showed that the use of passive exoskeletons does not significantly decrease exposure to the WMSD risk. Although were not found results that prove the opposite. In conclusion, the exoskeleton used in this study is not particularly useful in the assessed industrial tasks since there is alternation of postures in short cycles. Moreover, for these tasks, the exoskeleton interferes with the accomplishment of it due to the contact/shock of the equipment bars with certain workstation locations. Thus, the use of this equipment will be more suitable to industrial contexts where tasks require the maintenance and/or repetition of the sagittal trunk flexion, without performing other movements, such as rotation or lateral inclination. Thus, it seems that the use of this equipment will be more suitable for specific tasks where there is trunk flexion for long periods and/or repetitive flexion without other movements, such as rotation or inclination of the trunk.

## KEYWORDS

Passive Exoskeleton; Trunk flexion; Industry; Musculoskeletal disorders; Industrial tasks.

## ÍNDICE

Agradecimentos.....	iii
Resumo .....	v
Abstract.....	vi
Índice de Figuras .....	x
Índice de Tabelas .....	xiii
Lista de Abreviaturas, Siglas e Acrónimos .....	xiv
1. Contextualização do estudo .....	1
1.1 Contexto do capítulo.....	1
1.2 Motivação e enquadramento do estudo .....	1
1.3 Objetivos e hipóteses de investigação .....	3
1.4 Fases do estudo e estrutura da dissertação.....	5
2. Revisão Bibliográfica.....	7
2.1 Contexto do capítulo.....	7
2.2 A problemática das LMERT .....	7
2.2.1 Incidência das LMERT na UE e em Portugal .....	9
2.2.2 LMERT em trabalhadores de indústrias de mobiliário .....	10
2.2.3 As LMERT da região das costas .....	12
2.2.4 Fatores de risco de LMERT da região das costas.....	14
2.2.5 Medidas preventivas de LMERT da região das costas.....	18
2.3 Os exoesqueletos.....	20
2.3.1 Enquadramento histórico do uso de exoesqueletos .....	21
2.3.2 Normas aplicáveis .....	24
2.3.3 Tipologias de exoesqueletos .....	25
2.3.4 Domínios de aplicação dos exoesqueletos .....	25
2.3.5 Aplicação dos exoesqueletos em contexto industrial.....	26
2.3.6 Exoesqueletos ocupacionais passivos para os membros superiores .....	28

2.3.7	Exoesqueletos ocupacionais passivos para suporte da zona lombar.....	35
2.4	Avaliação da sobrecarga musculoesquelética durante tarefas industriais com utilização de um exoesqueleto de suporte lombar.....	45
2.4.1	Avaliação através de dados psicofísicos.....	45
2.4.2	Avaliação através de métodos observacionais .....	47
2.4.3	Avaliação através de EMG.....	49
3.	Metodologia de Investigação .....	51
3.1	Contextualização do capítulo.....	51
3.2	Natureza do estudo .....	51
3.3	Fase metodológica da revisão bibliográfica .....	52
3.4	Fase metodológica técnico-experimental.....	54
3.4.1	Introdução.....	54
3.4.2	Caracterização da empresa.....	54
3.4.3	Exoesqueleto utilizado no estudo .....	54
3.4.4	Técnica de amostragem e tarefas testadas .....	56
3.5	Estudo psicofísico.....	60
3.5.1	Desenvolvimento e aplicação do questionário .....	61
3.5.2	Análise dos dados psicofísicos .....	63
3.6	Avaliação postural.....	63
3.6.1	Técnica de recolha de dados e seleção de posturas .....	64
3.6.2	Aplicação do método REBA.....	66
3.6.3	Análise dos dados posturais.....	68
3.7	Estudo eletromiográfico .....	68
3.7.1	Descrição da tarefa industrial testada .....	68
3.7.2	Seleção dos músculos .....	69

3.7.3	Recolha de dados eletromiográficos.....	70
4.	Apresentação e discussão de resultados.....	77
4.1	Contextualização do capítulo.....	77
4.2	Resultados do estudo psicofísico .....	77
4.2.1	Caracterização da amostra.....	77
4.2.2	Estudo de comparação das pontuações psicofísicas entre os dois tempos de utilização do exoesqueleto.....	78
4.3	Resultados da avaliação postural.....	88
4.3.1	Caracterização da amostra.....	88
4.3.2	Estudo comparativo da avaliação postural entre as condições sem e com exoesqueleto .....	89
4.4	Resultados do estudo eletromiográfico .....	94
4.4.1	Caracterização da amostra.....	94
4.4.2	Estudo comparativo da sobrecarga musculoesquelética entre as condições sem e com exoesqueleto .....	95
5.	Conclusões e desenvolvimentos futuros .....	98
5.1	Contextualização do capítulo.....	98
5.2	Principais conclusões .....	98
5.3	Perspetivas de trabalho futuro .....	100
	Referências Bibliográficas.....	102
	Anexo I – Termo de Consentimento Livre e Esclarecido.....	108
	Anexo II – Questionário de avaliação de perceções do utilizador do exoesqueleto.....	111
	Anexo III – Folha de campo REBA .....	114
	Anexo IV – Exemplo de aplicação do Método REBA.....	115
	Anexo V– Protocolo de recolha e processamento de dados EMG.....	116
	Anexo VI– <i>Outputs</i> dos testes estatísticos utilizados na análise de dados eletromiográficos .....	119
	Anexo VII – Resultados da avaliação postural .....	121

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Representação esquemática das fases e desenvolvimento do estudo. ....	6
<b>Figura 2:</b> Vista lateral e posterior da coluna vertebral, evidenciando os diferentes segmentos da mesma (adaptado de Netter, 2011).....	13
<b>Figura 3:</b> Modelo conceptual dos fatores de risco de desenvolvimento de LMERT do conselho Nacional de Pesquisa(adaptado de National Research Council, 1999).....	17
<b>Figura 4:</b> Exoesqueletos utilizados no estudo de Alabdulkarim et al., (2019): (a.) <i>Fawcett Exovest<sup>TM</sup></i> ; (b.) <i>EksoWorks<sup>TM</sup></i> ; (c.) <i>FORTIS<sup>TM</sup></i> . ....	29
<b>Figura 5:</b> Exoesqueleto <i>PAD (Skel-Ex)</i> utilizado no estudo de Moyon et al. (2018).....	30
<b>Figura 6:</b> Exoesqueleto de braços utilizado no estudo de Huysamen et al. (2018).....	30
<b>Figura 7:</b> Protótipo de exoesqueleto de braços utilizado no estudo de Kim et al. (2018)....	31
<b>Figura 8:</b> Exoesqueleto <i>Levitare</i> usado no estudo de Huysamen et al. (2018).....	32
<b>Figura 9:</b> Exemplos de alguns exoesqueletos ocupacionais de suporte da zona lombar: (a.) <i>PLAD</i> (Whitfield et al., 2014); (b.) <i>Laevo</i> (Bosch et al., 2016); (c.) <i>BNDR</i> (Ulrey & Fathallah, 2011); (d.) <i>Passive Spexor prototype</i> (Näf et al., 2018). ....	37
<b>Figura 10:</b> Diagrama corporal usado para avaliar segundo a escala “Local Perceived Discomfort” (reproduzido de Kumar, Narayan, & Bjornsdottir, 1999 ) .....	46
<b>Figura 11:</b> Escala psicofísica RPE-20 (Borg, 1990) .....	46
<b>Figura 12:</b> Fluxograma das diferentes fases da revisão sistemática proposta pelo PRISMA (adaptado de Moher et al., 2009).....	53
<b>Figura 13:</b> O exoesqueleto passivo utilizado neste estudo, com a respetiva legenda dos seus constituintes (Laevo, n.d.). ....	55
<b>Figura 14:</b> Tarefa 1: tarefa de paletização. ....	57
<b>Figura 15:</b> Tarefa 2: tarefa de ajustamento de ripas de madeira. ....	58
<b>Figura 16:</b> Elemento 1 da Tarefa 3 de inspeção visual de peças: arrastamento da peça para a mesa de inspeção. ....	59
<b>Figura 17:</b> Elemento 2 da Tarefa 3 de inspeção visual de peças: inspeção visual da peça. ....	59
<b>Figura 18:</b> Elemento 3 da Tarefa 3 de inspeção visual de peças: manipulação da peça para a paleta. ....	60
<b>Figura 19:</b> Exemplo ilustrativo da postura selecionada na Tarefa 1 em ambas as condições testadas: (a.) sem exoesqueleto; (b.) com exoesqueleto .....	65

<b>Figura 20:</b> Exemplo ilustrativo da postura selecionada na Tarefa 2 em ambas as condições testadas: (a.)sem exoesqueleto; (b.) com exoesqueleto .....	65
<b>Figura 21:</b> Exemplo ilustrativo das posturas selecionadas em cada um dos elementos da Tarefa 3 em ambas as condições testadas: (a.) elemento 1 sem exoesqueleto; (b.) elemento 1 com exoesqueleto; (c.) elemento 2 sem exoesqueleto; (d.) elemento 2 com exoesqueleto; (e.) elemento 3 sem exoesqueleto; (f.) elemento 3 com exoesqueleto. ....	66
<b>Figura 22:</b> Representação dos músculos longuíssimo eretor da coluna e iliocostal eretor da coluna (adaptado de Netter, 2011) .....	69
<b>Figura 23:</b> Representação do músculo trapézio inferior (adaptado de Netter, 2011).....	69
<b>Figura 24:</b> Aparelho portátil wireless 8-channel biosignals Plux HUB®usado na recolha de dados de EMG.....	71
<b>Figura 25:</b> Eléctrodos fixados no corpo de um participante e conectados com o eletromiógrafo. ....	74
<b>Figura 26:</b> Representação gráfica da mediana (e respetivos mínimos e máximos) das pontuações psicofísicas dos participantes relativamente à avaliação geral do uso do exoesqueleto nos dois tempos de teste. ....	79
<b>Figura 27:</b> Representação gráfica da mediana (e respetivos mínimos e máximos) das pontuações psicofísicas dos participantes relativamente à dificuldade da adequabilidade do uso do exoesqueleto à tarefa nos dois tempos de teste. ....	81
<b>Figura 28:</b> Representação gráfica da mediana (e respetivos mínimos e máximos) das pontuações psicofísicas dos participantes relativamente ao esforço global percecionada com e sem exoesqueleto nos dois tempos de utilização testados.....	82
<b>Figura 29:</b> Representação gráfica da percentagem da amostra que sente desconforto nas diversas regiões corporais nos dois tempos de utilização do exoesqueleto testados.....	84
<b>Figura 30:</b> Representação gráfica da mediana (e respetivos mínimos e máximos) das pontuações psicofísicas dos participantes relativamente à intensidade da dor percecionada nos diversos segmentos corporais nos dois tempos de teste.....	85
<b>Figura 31:</b> Representação gráfica da mediana (e respetivos mínimos e máximos) das pontuações psicofísicas dos participantes relativamente à usabilidade do exoesqueleto nos dois tempos de utilização testados.....	86
<b>Figura 32:</b> Ilustração da postura avaliada na condição sem exoesqueleto para a Tarefa 1. ..	90
<b>Figura 33:</b> Ilustração da postura avaliada na condição sem exoesqueleto para a Tarefa 1. ..	90

<b>Figura 34:</b> Exemplo ilustrativo da postura avaliada para a Tarefa 2 nas duas condições: (a.) sem exoesqueleto; (b.) com exoesqueleto. ....	92
<b>Figura 35:</b> Exemplo ilustrativo da postura avaliada para o elemento 3 da Tarefa 3 nas duas condições: (a.) sem exoesqueleto; (b.) com exoesqueleto.....	93
<b>Figura 36:</b> Representação gráfica da média do nível médio de contração muscular (%CMV) para os músculos longíssimo eretor da coluna esquerdo (LE), longíssimo eretor da coluna direito (LI), iliocostal eretor da coluna esquerdo (IE), iliocostal eretor da coluna (ID), trapézio inferior esquerdo (TE) e trapézio inferior direito (TE) sem (azul) e com (cinzento) exoesqueleto. As barras de erro indicam o desvio padrão. ....	95



## ÍNDICE DE TABELAS

<b>Tabela 1:</b> Objetivos específicos e hipóteses testadas nos estudos desenvolvidos.....	5
<b>Tabela 2:</b> Resumo das principais características de estudos revistos sobre exoesqueletos de suporte de membros superiores (apresentados por ordem cronológica da sua publicação). 33	
<b>Tabela 3:</b> Resumo das principais características de estudos revistos sobre exoesqueletos de suporte lombar (apresentados por tipo de exoesqueleto usado). ....	42
<b>Tabela 4:</b> Representação das vários tubos de suporte distribuídos por tamanho, altura do utilizador e respetiva cor (Laevo, n.d.). ....	56
<b>Tabela 5:</b> Descrição das etapas do questionário. ....	61
<b>Tabela 6:</b> Pontuações e níveis de ação REBA (adaptado de Hignett & McAtamney, 2000). ..	67
<b>Tabela 7:</b> Procedimento de preparação da pele nas zonas de fixação dos elétrodos. ....	72
<b>Tabela 8:</b> Músculos estudados por EMG e respetivos protocolos de marcação do local de fixação dos elétrodos (adaptado de SENIAM, s.d.). ....	73
<b>Tabela 9:</b> Caracterização da amostra do estudo psicofísico ( $n = 7$ ). ....	78
<b>Tabela 10:</b> Frequência do desconforto global percecionado (mediana, mínimo e máximo) com a utilização do exoesqueleto nos dois tempos testados. ....	86
<b>Tabela 11:</b> Caracterização da amostra do estudo de avaliação postural ( $n = 8$ ). ....	88
<b>Tabela 12:</b> Resultados de avaliação postural para a tarefa 1 nas duas condições avaliadas .	89
<b>Tabela 13:</b> Resultados de avaliação postural para a tarefa 2 nas duas condições avaliadas .	91
<b>Tabela 14:</b> Resultados de avaliação postural para a Tarefa 1 nas duas condições avaliadas.	93
<b>Tabela 15:</b> Caracterização da amostra do estudo eletromiográfico ( $n = 5$ ). ....	95
<b>Tabela 16:</b> Estado da carga (Fadiga, cansaço, normal) dos músculos avaliados em ambas as condições testadas. Entre parênteses encontra-se o nível médio de contração muscular (%CMV). ....	97

## LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÓNIMOS

APDF – *Amplitude Probability Distribution Funtion*

BNDR – *Bending Non-Demand Return*

CMV – Contração Máxima Voluntária

DARPA – Agência de Projetos de Pesquisa Avançada em Defesa dos EUA

EMG – Eletromiografia

EUA – Estados Unidos da América

GE – *General Electric*

ID – Iliocostal direito

IE – Iliocostal esquerdo

ISO – Organização Internacional de Padronização

JSA – Associação Japonesa de Padrões

LD – Longuíssimo direito

LE – Longuíssimo esquerdo

LMERT – Lesões Musculoesqueléticas Relacionadas com o Trabalho

REBA – *Rapid Entire Body Assessment*

LME – Lesões Musculoesqueléticas

LPD – *Local Perceived Discomfort Scale*

NIOSH – Instituto Nacional de Segurança e Saúde Ocupacional

NIST – Instituto de Nacional de Padrões e Tecnologia

PAD – *Physical Assistance Device*

PLAD – *Personal Lift Assist Device*

PRISMA – *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*

RPE- 20 – *Borg Ratings of Perceived Exertion -20 scale*

SENIAM – Surface Electromyography for the Non-Invasive Assessment of Muscles

SI – Strain Index

*RULA – Rapid upper limb assessment*

TD – Trapézio inferior direito

TE – Trapézio inferior esquerdo

UE – União Europeia

*VAS – Visual-Analog Scale*

## **1. CONTEXTUALIZAÇÃO DO ESTUDO**

### **1.1 Contexto do capítulo**

Neste capítulo pretende-se enquadrar o presente estudo, demonstrando a sua pertinência. Apresenta-se também os objetivos gerais e específicos, bem como as hipóteses testadas para cada um dos métodos de avaliação utilizados. Por último, apresentam-se as fases de desenvolvimento do estudo e a estrutura desta dissertação.

### **1.2 Motivação e enquadramento do estudo**

Nas sociedades industrializadas os problemas musculoesqueléticos têm aumentado progressivamente, resultando em custos significativos (Näf et al., 2018). Estes definem-se como lesões ou doenças dos músculos, nervos, tendões, ligamentos e cartilagem (Celik et al., 2017). Na Europa, estas lesões são os problemas de saúde relacionados com o trabalho que afetam mais pessoas, em termos ocupacionais (60%) (Eurostat, 2010).

Os valores de incidência de LMERT em contexto ocupacional demonstram que se torna pertinente dar uma especial atenção à proteção dos trabalhadores no concerne a esta temática. Desta feita, várias medidas preventivas têm vindo a ser propostas, como por exemplo a formação dos trabalhadores, o ajustamento dos processos e dos postos de trabalho, aumento dos períodos de descanso e a utilização de meios mecanizados de levantamento e sustentação de cargas (Krüger et al., 2015; Näf et al., 2018). Com o aparecimento da 4ª revolução industrial, a Indústria 4.0, onde a automação e permuta de dados no processo de fabrico são emergentes, surgiram inúmeras outras soluções para mitigação dos problemas musculoesqueléticos dos trabalhadores (Diez-olivan, Ser, Galar, & Sierra, 2018). Nesta nova filosofia, a assistência técnica é nuclear, isto é, os trabalhadores são assistidos por robôs sempre que uma tarefa seja difícil ou pouco segura. Contudo, existem inúmeras tarefas dependentes da precisão humana e da tomada de decisões, o que leva a que nessas situações deixe de ser possível a utilização de um robô. Nestes casos fala-se numa tecnologia de humanos-aumentados, em que se alia a tecnologia ao trabalhador, permitindo manter a componente humana e salvaguardando a proteção do trabalhador durante tarefas manuais, exemplo disso são os exoesqueletos (Huysamen et al., 2018; Zhou & Li, 2016).

Importa agora clarificar o conceito de exoesqueleto, que é também denominado por dispositivo de assistência pessoal. Este equipamento é um dispositivo capaz de gerar a energia física necessária à realização de tarefas manuais, e que poderá salvaguardar a sobrecarga da componente musculoesquelética de um determinado grupo muscular, podendo ser capaz, em determinadas situações, de diminuir os fatores de risco de lesões musculoesqueléticas (de Looze, Bosch, Krause, Stadler, & O’Sullivan, 2016; Zhang & Huang, 2018). Trata-se de um novo tipo de sistema de cooperação entre humanos e robôs, em que a inteligência humana e o poder robótico são aprimorados em conjunto (Lee, Kim, Han, & Han, 2012). Esta tecnologia pode ser útil quando todas as outras medidas não surtiram efeito na mitigação do risco de lesões musculoesqueléticas ou quando a automação da tarefa não é viável devido à multiplicidade de processos de uma tarefa (Bosch, van Eck, Knitel, & de Looze, 2016). Os exoesqueletos, segundo o mecanismo de articulação, podem ser classificados como “ativos” e “passivos”. Os primeiros possuem um ou mais mecanismos capazes de fornecer energia (como motores elétricos e cilindros hidráulicos), que aumentam ativamente a potência do corpo humano. Os segundos, usam materiais com elasticidade ou viscosidade, como molas ou amortecedores, que têm a capacidade de acumular energia dos movimentos humanos e descarregá-la de forma a assistir os usuários aquando um determinado movimento (Bosch et al., 2016; Lee et al., 2012).

Os exoesqueletos têm sido maioritariamente utilizados em contexto de reabilitação, com o intuito de fornecer um suporte físico a pessoas com mobilidade reduzida ou com limitações funcionais. Um menor número destes equipamentos tem sido desenhado para aplicações militares de forma a aumentar a força ou a capacidade de transportar carga dos soldados (S. Kim et al., 2018). No que concerne à utilização de exoesqueletos em contexto ocupacional, trata-se de um conceito embrionário, que pouco foi testado além do laboratório, o que torna bastante pertinente a sua validação em contexto industrial (Huysamen et al., 2018). A maioria dos exoesqueletos utilizados neste contexto tem como objetivo auxiliar a elevação dos membros superiores em tarefas que assim o exijam ou dar suporte lombar em tarefas de flexão do tronco, de forma a prevenir as lesões musculoesqueléticas dessa zona (de Looze et al., 2016).

A utilização de exoesqueletos pode acarretar inúmeras potencialidades e, por isso, existe um interesse crescente na sua utilização em contexto industrial. Contudo, são necessários dados

experimentais que confirmam padrões de segurança e que as várias questões técnicas (desconforto, peso do equipamento e a compatibilidade com a anatomia e cinemática humanas, por exemplo) que dificultam o uso destes equipamentos sejam colmatadas (de Looze et al., 2016).

Destarte, torna-se pertinente avaliar, em contexto industrial, a influência de um exoesqueleto passivo na postura e eventual diminuição dos fatores de risco de lesões musculoesqueléticas e na adaptabilidade ao posto de trabalho em tarefas que envolvem a flexão do tronco. Para a realização deste estudo, foi utilizado um exoesqueleto passivo capaz de transferir as forças incidentes na parte inferior das costas para o peito e coxas (Bosch et al., 2016).

Com este intuito, desenvolveu-se um trabalho de investigação em postos de trabalho de uma indústria que se dedica à fabricação de mobiliário em Portugal. A justificação da escolha por este sector de atividade prende-se com facto de estar demonstrado que nestas indústrias existem múltiplos postos de trabalho com exigências físicas significativas (tarefas repetitivas, movimentação manual de cargas e posturas estáticas e inapropriadas como flexões e torções do tronco) nos quais os trabalhadores estão expostos a diferentes fatores de risco que potenciam o aparecimento de LMERT (Guimarães, Anzanello, Ribeiro, & Saurin, 2015; Nejad et al., 2013).

Julga-se que o contributo inovador deste trabalho prende-se com o facto de se fornecer dados científicos da utilização de um equipamento que carece de validação em contexto industrial, uma vez que, como evidenciado pela revisão bibliográfica deste estudo (Capítulo 2), poucos estudos têm sido realizados neste contexto, existindo por isso alguma controvérsia relativa à segurança do equipamento para o utilizador (de Looze et al., 2016). Assim, no que concerne ao contexto industrial continua a ser necessária mais investigação para melhor compreensão dos efeitos da utilização de um exoesqueleto passivo nos fatores de risco de lesões musculoesqueléticas.

### **1.3 Objetivos e hipóteses de investigação**

Assim, atendendo aos conceitos supracitados, com este estudo pretende-se reunir resultados que ajudem a responder à seguinte questão de investigação: *O exoesqueleto passivo contribui para a diminuição dos fatores de risco de LMERT em tarefas manuais que envolvam a flexão do tronco?*

Desta questão emerge o seguinte conjunto de subquestões:

1. *Quais as percepções do utilizador do exoesqueleto relativamente: à adequabilidade do equipamento à tarefa, ao esforço, ao desconforto, e à usabilidade do equipamento?*
2. *Existem melhorias posturais na condição com o exoesqueleto, relativamente à condição sem o exoesqueleto durante a realização de tarefas industriais?*
3. *Existem alterações na atividade muscular na condição com o exoesqueleto, comparativamente à condição sem o exoesqueleto durante a realização de tarefas industriais?*

De acordo com as questões de investigação levantadas, este trabalho foi planeado e desenvolvido de modo a alcançar os seguintes objetivos:

1. Analisar o desconforto percecionado, a sintomatologia musculoesquelética auto-reportada pelos trabalhadores e a usabilidade do equipamento antes e após a utilização do exoesqueleto;
2. Comparar a postura corporal durante a realização das tarefas industriais sem e com a utilização do exoesqueleto;
3. Avaliar os efeitos na atividade muscular, através de eletromiografia, sem e com o exoesqueleto.

Assim, é expectável alcançar o principal desígnio desta investigação que reside em: investigar se a utilização de um exoesqueleto passivo contribuiu para a diminuição dos fatores de risco de lesões musculoesqueléticas durante tarefas industriais.

A metodologia empregue neste estudo compreendeu a recolha de dados quantitativos e semi-quantitativos, nomeadamente, testes psicofísicos (através de questionário), testes posturais (através do método *Rapid Entire Body Assessment* [REBA]) e testes de avaliação da sobrecarga muscular (através de eletromiografia). Posto isto, especificam-se na Tabela 1 os objetivos de cada estudo e as respetivas hipóteses de investigação.

**Tabela 1:** Objetivos específicos e hipóteses testadas nos estudos desenvolvidos.

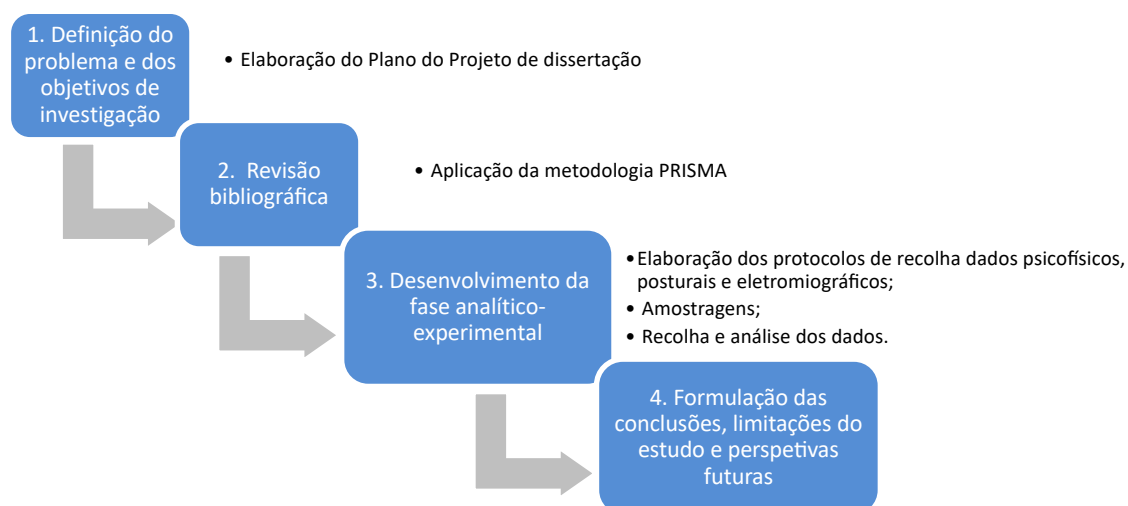
Estudos experimentais	Técnica	Objetivos específicos	Hipóteses testadas
<b>Avaliação Psicofísica</b>	Inquérito por questionário	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Avaliar a dificuldade da adequabilidade do uso exoesqueleto à tarefa.</li> <li>- Avaliar se existem melhorias no esforço percebido com a utilização do exoesqueleto.</li> <li>- Avaliar o desconforto causado pelo equipamento.</li> <li>- Avaliar a usabilidade do equipamento.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- A utilização do exoesqueleto interfere na realização de determinadas tarefas industriais.</li> <li>- A utilização do exoesqueleto diminuiu o esforço realizado durante tarefas industriais.</li> <li>- O exoesqueleto não causa desconforto no seu utilizador.</li> <li>- O exoesqueleto é de uso simples.</li> </ul>
<b>Avaliação Postural</b>	Método REBA	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Comparar se existem diferenças posturais na condição de com e sem exoesqueleto.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- O exoesqueleto melhora a postura do utilizador contribuindo para a diminuição do risco de LMERT.</li> </ul>
<b>Avaliação da Sobrecarga Muscular</b>	Eletromiografia	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Comparar a sobrecarga muscular dos músculos da zona lombar entre as condições de com e sem o exoesqueleto para a mesma tarefa industrial.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- O exoesqueleto diminuiu a atividade muscular da zona lombar, na condição de com e sem o exoesqueleto.</li> </ul>

#### 1.4 Fases do estudo e estrutura da dissertação

Este estudo compreendeu quatro fases principais: (1) definição do problema e dos objetivos de investigação; (2) revisão bibliográfica; (3) desenvolvimento da fase analítico-experimental voltadas para a sobrecarga musculoesquelética em tarefas industriais mediante a utilização de um exoesqueleto passivo para suporte da zona lombar; e, por fim, (4) formulação das conclusões, limitações do estudo e perspectivas futuras de investigação. Na Figura 1, evidenciam-se essas fases, com informação adicional inerente.

Importa salientar que a fase da revisão bibliográfica acompanhou todo o desenvolvimento deste trabalho, apesar de mais intensa no início da investigação. A fase analítico-experimental foi dividida em três estudos distintos, nomeadamente: psicofísico, avaliação postural e eletromiográfico.





**Figura 1:** Representação esquemática das fases e desenvolvimento do estudo.

Este estudo de investigação culminou na presente dissertação, a qual se encontra estruturada do seguinte modo:

1. Contextualização do estudo: refere-se à motivação e enquadramento do estudo. Adicionalmente, apresenta-se a questão de investigação, os objetivos a alcançar as hipóteses testadas, as fases do estudo e a estrutura da presente dissertação;
2. Revisão bibliográfica: apresenta-se o enquadramento teórico que suporta o presente estudo, obtido através da revisão crítica de bibliografia;
3. Metodologia de investigação: efetua-se a descrição e fundamentação dos procedimentos metodológicos realizados nas diferentes fases da investigação;
4. Apresentação e discussão de resultados: apresenta-se e analisa-se os dados obtidos ao longo das diferentes fases desta investigação;
5. Conclusões e desenvolvimentos futuros: apresentam-se as principais conclusões deste trabalho de investigação, e ainda as suas limitações e algumas propostas para trabalhos futuros.

No final deste documento, é ainda apresentada a lista das referências bibliográficas e os anexos. Nestes, incluem-se alguns resultados obtidos, como por exemplo, os resultados das avaliações posturais nas diferentes tarefas, por trabalhador, e ainda alguns instrumentos produzidos, como é o caso do questionário de avaliação da perceção dos utilizadores do exoesqueleto e o protocolo de recolha e processamento de dados de eletromiografia.

## **2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1 Contexto do capítulo**

A literatura inerente a tópicos relacionados com segurança e saúde no trabalho mostra que a exposição a determinados fatores de risco no trabalho pode acarretar a ocorrência de lesões e até doenças que certamente terão efeitos negativos em aspetos como a saúde dos trabalhadores, sociedade e economia.

Doravante, este capítulo, sob a forma de revisão bibliográfica, debruça-se sobre conceitos teóricos e técnicos relativos a LMERT, sobretudo as que afetam a parte dorsal do corpo humano. Também se aborda a influência da utilização de exoesqueletos nos fatores de risco de LMERT em contexto ocupacional. Adicionalmente, apresenta-se uma abordagem aos métodos de avaliação comumente utilizados na avaliação e validação do uso deste tipo de equipamentos.

### **2.2 A problemática das LMERT**

O entendimento de que determinadas profissões são suscetíveis de induzir doenças não é recente. Efetivamente, já em 1700, o considerado pai da Medicina Ocupacional, *Bernardino Ramazzini*, considerava que a realização de trabalhos em condições climáticas adversas e em ambientes mal ventilados poderia dar origem a doenças e recomendava períodos de descanso, exercícios e posturas corretas (Uva, Carnide, Serranheira, Miranda, & Lopes, 2008). Esta premissa, nos dias de hoje ainda se mantém bastante atual.

As lesões musculoesqueléticas (LME) são condições de saúde comuns em muitos postos de trabalho (Daugherty, 1998). São lesões nos tecidos moles causadas pela exposição súbita ou prolongada a fatores físicos. Estas podem afetar músculos, nervos, tendões, articulações, cartilagens e estruturas de suporte dos membros, pescoço e costas que são agravadas pela exposição prolongada a fatores físicos (NIOSH, 2018). Assim, são excluídas da definição lesões como fraturas, contusões, escoriações e lacerações.

As LME podem afetar diversas partes do corpo, como por exemplo, o ombro, pescoço, o cotovelo, a mão, o punho, joelho e a região dorso-lombar. Quando este tipo de lesões ocorre em contexto ocupacional designam-se de LMERT e resultam sobretudo em dores crónicas que decorrem do

exercício de uma determinada atividade profissional inerente a diversos fatores de risco (Uva et al., 2008).

As LMERT afetam milhões de trabalhadores em todo o mundo abrangendo todos os setores de atividade. Este tipo de lesões tornou-se muito comum e deve ser reconhecido como um dos principais problemas de saúde ocupacional da Europa. Acrescenta-se ainda, que segundo o Eurostat, (2010) este é o problema ocupacional mais frequente, representando uma percentagem de 60% em relação a todos os problemas ocupacionais existentes.

A investigação levada a cabo neste domínio é ampla, sendo que os resultados obtidos evidenciam claramente a importância de que se reveste este problema de saúde. O resultado de um inquérito realizado na União Europeia mostra que aproximadamente 30% dos trabalhadores apresentam queixas de dores dorso-lombares e que cerca de 17% queixam-se de dores musculares dos membros superiores e inferiores (Schneider & Irastorza, 2010).

As LMERT são agrupadas de acordo com a estrutura afetada, nomeadamente: quando afetam tendões ou bainhas tendinosas denominam-se de tendinites ou tenossinovites; quando há lesões de um nervo designam-se por síndromes caniculares; quando há lesões osteoarticular e/ou muscular da coluna vertebral denominam-se raquialgias; e quando acontecem ao nível nervoso e muscular em simultâneo designam-se por síndromes neurovascular. A sintomatologia geralmente envolve dor (sobretudo localizada, mas que pode irradiar para áreas corporais próximas), sensação de dormência, sensação de peso, fadiga ou desconforto localizado e sensação de perda de força ou mesmo perda de força. Estes sintomas, de uma maneira geral, surgem gradualmente e agravam-se no fim do dia de trabalho ou durante picos de trabalho e tendem a aliviar com pausas ou repouso (Uva et al., 2008). Contudo, aquando de uma exposição continuada aos fatores de risco, os sintomas que inicialmente são intermitentes tornam-se gradualmente persistentes, mantendo-se muitas vezes nos períodos de repouso e interferindo não só com o trabalho, como também com as tarefas pessoais do dia-a-dia. Quando as situações clínicas evoluem para doenças crónicas, podem surgir edemas e uma hipersensibilidade a estímulos (como ao “toque”, a diferenças de temperatura ou ao esforço).

Segundo a Organização Mundial de Saúde, este tipo de lesões é considerado multifatorial, o que indica que vários fatores de risco, como físicos, individuais, organizacionais e psicossociais, contribuem para o seu aparecimento (WHO, 2002).

Os fatores físicos incluem posturas ou posições corporais extremas, tarefas repetitivas, aplicação de força, levantamento/ abaixamento frequente de cargas, exposição a elementos mecânicos, vibrações e temperatura extremas. Fatores como a idade, o género, a altura, o peso e a situação de saúde são considerados fatores individuais que também afetam o desenvolvimento de LMERT. No que concerne a fatores organizacionais e psicossociais destacam-se os ritmos intensos de trabalho, a monotonia de tarefas, o insuficiente suporte social e o modelo de organização de produção (Daugherty, 1998).

Nos dias de hoje, o panorama de implementação de automatismos nas indústrias prevê um aumento da competitividade e o incremento de determinados fatores de risco em prol de outros. Se até então os fatores de risco, nas indústrias de trabalho mais manual, eram ligados ao trabalho físico intenso, nos dias de hoje esperam-se fatores de risco mais interligados à repetitividade de gestos e movimentos, à adoção de posturas extremas e à imposição de cadências e ritmos de trabalho elevados (Uva et al., 2008).

#### 2.2.1 Incidência das LMERT na UE e em Portugal

A população mundial tem vindo a ter um aumento exponencial, originando também o aumento das indústrias já existentes assim como novas. Existem cada vez mais a procura de brechas de mercado e em oportunidades para o lançamento de novos produtos, quer sejam estes essenciais ou não. Quanto mais aumenta a variedade de produtos cada vez mais novos mecanismos têm de ser implementados no fabrico dos mesmos. Isto terá levado a um incremento da carga de trabalho dos operadores e, por outro lado, à automação parcial dos processos de fabrico o que terá aumentado a repetitividade das tarefas, bem como as exigências de movimentos mais precisos e de menor amplitude (Diez-olivan et al., 2018). Estes fenómenos são suscetíveis de justificar a prevalência do que é considerado um problema mundial, quer do ponto de vista da saúde, quer do social e económico – as LMERT.

Este tipo de lesões afetam tanto países desenvolvidos como subdesenvolvidos e nos mais diversos setores de atividade. Na opinião de alguns autores, começa a revelar-se uma verdadeira epidemia e por isso tem constituído objeto de inúmeras investigações e debates que têm como intuito prevenir a ocorrência desta problemática em contexto ocupacional (Miranda, Carnide, & Lopes, 2006).

Na União Europeia (UE), segundo WHO (2002), 60% dos trabalhadores considera que o trabalho afeta negativamente a sua saúde, sendo que 33% associam esse impacto negativo a sintomas de lombalgias, 23% a dores na coluna cervical e ombros e 17% nos membros superiores e inferiores. Acrescenta-se ainda, que de acordo com os dados do sexto Inquérito Europeu para as Condições no Trabalho, aproximadamente metade dos trabalhadores Europeus sofreu de algum tipo de LMERT. Destes, 44,7% sofreram de dores nas costas e 44,4% de dores musculares do pescoço e/ou membros superiores/inferiores. Estes valores, considerando a população total Europeia, mostram que cerca de 75 milhões de trabalhadores mencionam sofrer de algum tipo de LMERT. Também permitem concluir que a dor de costas é o problema musculoesquelético mais frequente, seguido de lesões no pescoço e membros. A incidência das LMERT que afetam as costas nos diferentes países da União Europeia é elevada, sendo que o país detentor da maior percentagem de casos reportados é a França (59%) e o país com a menor percentagem é a Hungria com 28% de casos reportados (Nunes, 2017). Em Portugal, segundo os resultados de um inquérito realizado na União Europeia, 39% dos trabalhadores sofrem de dores dorso-lombares e que 31% sofrem de dores musculares nos braços ou pernas (Schneider & Irastorza, 2010).

Dado o exposto, verifica-se que existe alguma discrepância entre áreas geográficas no que concerne à prevalência de LMERT. A razão disto acontecer parece estar relacionada com as várias definições legalmente atribuídas por cada país às LMERT e ainda daquilo que possa ser considerado como doença profissional. Como consequência, surgem diferentes listas de doenças profissionais impedindo o conhecimento da verdadeira extensão do problema, ou de um modo mais global, dificultando o reconhecimento no cômputo geral do verdadeiro impacto do trabalho sobre a saúde da população (Miranda et al., 2006).

### 2.2.2 LMERT em trabalhadores de indústrias de mobiliário

As indústrias que se dedicam à fabricação de mobiliário são de elevada importância em inúmeros países (Mirka, Smith, Shivers, & Taylor, 2002). Verifica-se no mundo inteiro uma evolução relativamente positiva no que concerne à produção de mobiliário por indústrias deste ramo de atividade. A produção mundial de mobiliário ronda os 180 mil milhões de euros, destacando-se os EUA, seguindo-lhes a Alemanha, a Itália, o Japão, França, o Reino Unido e o Canadá (Xavier, Guimarães, & Peixoto, 2012). No panorama nacional, segundo dados da *Pordata*, desde 2013 que o número de indústrias de mobiliário tem vindo a aumentar. Em 2017, contavam-se 4421 indústrias afetas à fabricação de mobiliário (Fundação Francisco Manuel dos Santos, 2019).

Dada a importância deste ramo de atividade e do número de indústrias afetas ao mesmo será de esperar que exista um elevado número de trabalhadores. Muitas destas indústrias, mesmo aquelas que são mais automatizadas, recorrem ao trabalho manual de inúmeros operários. Estes encontram-se sujeitos a vários riscos ocupacionais, nomeadamente, desrespeito dos princípios ergonómicos, contacto mecânico e com superfícies cortantes, quedas, exposição a partículas e poeiras, ruído, temperaturas elevadas, vibrações, iluminação insuficiente, incêndio e explosões entre outros (Guimarães et al., 2015).

Existem várias fases no processo produtivo de móveis, o que inclui corte, lixagem, pintura, perfuração, acabamento, montagem, embalagem, acondicionamento e transporte, sendo que cada um acarreta um determinado desafio físico (Thetkathuek & Meepradit, 2018). Transversal a todos eles são as tarefas de manipulação de cargas, esforços musculoesqueléticos exacerbados, movimentos repetitivos, posturas de trabalho extremas e estáticas. Este tipo de tarefas, são uns dos principais fatores de risco de LMERT. Outro fator que agrava o aparecimento deste tipo de lesões é o facto de os produtos fabricados serem, geralmente, pesados, volumosos e de difícil manipulação. Adicionalmente, também as más condições de trabalho, e a falta de programas de prevenção de lesões agravam o aparecimento de LMERT (Nejad et al., 2013).

Existem alguns estudos especificamente relacionados com a prevalência de LMERT na produção de mobiliário. Segundo Nejad *et al.* (2013), num estudo desenvolvido no Irão e que envolvia 683 pequenas fábricas, a prevalência de LMERT ocorre essencialmente nos joelhos (39%), região lombar (35,6%) e mão-punho (29,5%). Estes valores revelam que a causa está associada maioritariamente às condições gerais de trabalho, à organização do trabalho, ao *design* do posto de trabalho e postura de trabalho. Um outro estudo, desenvolvido por Guimarães *et al.* (2015), numa empresa brasileira com cerca de 400 trabalhadores, mostra que as regiões do corpo onde as LMERT são mais frequentes são: as costas, os braços, as mãos e as pernas. Adicionalmente, também mostra que os fatores de risco de desenvolvimento destas lesões se deve ao trabalho repetitivo, posturas/movimentos inadequados e à manipulação de cargas pesadas. Também um estudo levado a cabo numa indústria com 439 trabalhadores na Tailândia Oriental, por Thetkathuek & Meepradit (2018) mostrou que a maior parte dos trabalhadores tinha sintomas de dores de ombros (53,9%), seguindo-lhe a dor de punho (37,8%) e por fim a dor de costas (37,5%). Estes sintomas foram mais prevalentes no sector da perfuração. É também mencionado, neste estudo, que os sintomas de LMERT variavam consoante a fase de fabricação do mobiliário

(pintura, perfuração, embalagem, etc.), a idade, a duração do trabalho (em anos), o histórico de fumador e o ambiente térmico do posto de trabalho.

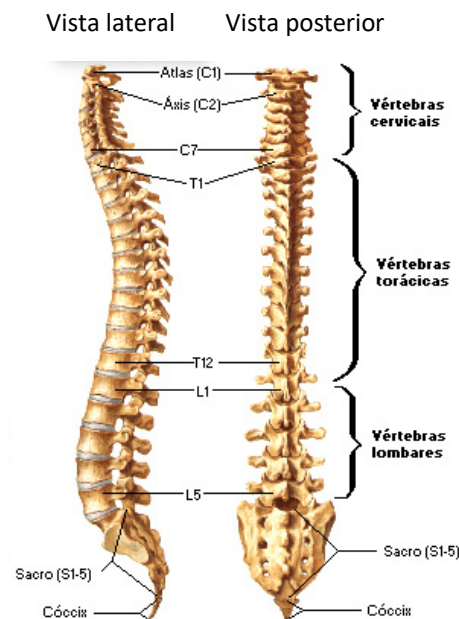
### 2.2.3 As LMERT da região das costas

As LMERT da região do dorso representam um problema social e econômico para as sociedades ocidentais (Holtermann, Clausen, Aust, Mortensen, & Andersen, 2013). Segundo o Eurostat (2010), 30% das LMERT são referentes à zona lombar. Acrescenta-se ainda, que 85% da população sofre de lesões na zona lombar, e que apenas uma pequena fração reporta essas lesões. Desses, 60% relatam a manutenção dos sintomas após 5 anos da data da lesão. Na população em idade ativa, o impacto social e econômico deste problema ocupacional é enorme: esta é a segunda razão mais frequentemente relatada para visitar um médico, a quinta causa mais frequente de hospitalização e a terceira razão mais frequente para cirurgia (Roffey, Wai, Bishop, Kwon, & Dagenais, 2010).

A origem deste problema ocupacional, é considerada de natureza mecânica, o que indica que qualquer stress mecânico induzido nos músculos, ligamentos, ossos e tecidos de suporte da coluna vertebral pode exacerbar os sintomas (Roffey et al., 2010).

De forma a compreender os problemas de natureza ergonómica relacionados com o dorso é importante clarificar a localização e estrutura desta zona. Situa-se entre a região do pescoço e a região glútea e possui diversas funções, como proteger a medula espinhal, manter o corpo e a cabeça eretos e ajustar os movimentos dos membros superiores e inferiores. A principal estrutura óssea do dorso é a coluna vertebral, que é considerada o eixo do corpo e está constituída de forma a sustentar e oferecer a flexibilidade necessária para o movimento. Esta é formada por várias vértebras alinhadas verticalmente, que perfazem um total de 33 vértebras, das quais 7 vértebras cervicais no pescoço, 12 vértebras torácicas no tórax, 5 vértebras lombares na região lombar, 5 vértebras sacrais no sacro e 3 a 5 vértebras coccígeas no cóccix (Figura 2). Cada uma destas estruturas ósseas, desde a segunda vértebra cervical até ao sacro encontram-se segmentadas por discos intervertebrais que são estruturas fibrosas capazes de absorver impactos e diminuir a pressão sobre a coluna vertebral. Na constituição desta zona do corpo, também existem ligamentos que são estruturas passivas e elásticas que suportam e unem as vertebrae, prevenindo o movimento excessivo. Além destas estruturas, ainda existem os músculos e tendões, que sob controlo voluntário, são os motores que energizam a coluna. Estes, podem ser classificados em três conjuntos: músculos superficiais, intermédios e profundos. A musculatura da coluna vertebral

consiste em músculos flexores para inclinação para a frente e músculos extensores para inclinação para trás. Ainda é possível movimentos de inclinação lateral e de torção/rotação (NRC & IOM, 1997).



**Figura 2:** Vista lateral e posterior da coluna vertebral, evidenciando os diferentes segmentos da mesma (adaptado de Netter, 2011).

De forma a evitar o aparecimento de lesões é importante que se mantenha a postura mais apropriada para a realização de uma determinada tarefa, isto é, aquela que permite executá-la como o mínimo esforço muscular possível. Posto isto, a capacidade para exercer força depende sobretudo da postura, ou seja, os membros ou partes do corpo envolvidas devem ser utilizados na posição que garanta a maior vantagem mecânica (Barreiro, Gosta, & Carneiro, 2012). Assim, a posição neutra do dorso acontece quando uma pessoa se encontra ereta. Contudo, a coluna não é realmente direita, pois ela apresenta uma curvatura natural. Por isso, as posturas desajustadas, potenciadoras de problemas musculoesqueléticos das costas, incluem a flexão suave (inclinação frontal) entre 20º a 45º, sendo que acima deste último valor é considerada uma flexão extrema. Também a extensão da coluna (inclinação para trás) acima de 10º e ainda a inclinação lateral (tanto para a direita como para a esquerda) acima de 20º bem como a torção do tronco causam *stress* à zona lombar (Daugherty, 1998).

Destarte, as LMERT da região do dorso acontecem quando existe a aplicação de forças excessivas, o que resulta numa sobrecarga acima da capacidade musculoesquelética de uma ou mais estruturas desta região. Frequentemente leva a traumas diretos, nomeadamente, rompimento,



estiramento e contraturas de músculos ou rompimento, estiramento e inflamação de tendões e ligamentos e lesões de nervos e vasos sanguíneos.

As LMERT desta zona corporal mais frequentes são as raquialgias. Os sintomas variam de acordo com a região da coluna afetada: cervical, dorsal ou lombar. Na população trabalhadora em geral, as lombalgias e as cervicalgias são as queixas mais frequentes. Comumente, os sintomas são caracterizados por dor, tensão muscular, rigidez, fraqueza nos membros inferiores e dormência que percorre toda a área das pernas (Roffey et al., 2010). As causas possíveis para o aparecimento deste tipo de lesões, são, sobretudo, as posturas prolongadas em pé ou a permanência sentada e os movimentos repetitivos de flexão e de extensão da coluna (Uva et al., 2008).

#### 2.2.4 Fatores de risco de LMERT da região das costas

A ocorrência de LMERT na região dorsal é uma condição complexa, que envolve contribuições tanto de fatores pessoais como de fatores relacionados com o trabalho (Kim, Hayden, & Mior, 2004). Devido aos diversos fatores de risco inerentes a esta condição, a natureza das lesões ou os processos patológicos que as originam são raramente conhecidos (Roffey et al., 2010). Contudo, existem diversas evidências científicas que correlacionam positivamente o aparecimento de LMERT nesta área do corpo a dois tipos de atividades laborais: as de natureza estática resultantes da adoção de posturas extremas e as de natureza predominantemente dinâmica comumente associadas à aplicação de esforços consideráveis.

No âmbito da primeira categoria incluem-se as atividades que requerem a manutenção de posturas inapropriadas do corpo, relativamente sedentárias, durante períodos mais ou menos longos, como trabalhar curvado, sempre sentado ou sempre em pé, caracterizados por trabalho muscular estático de natureza postural. Nestas situações a uma das consequências é a fadiga muscular, uma vez que postura estática interfere com a circulação de sangue no músculo, levando a um déficit de oxigénio e à falta de remoção dos resíduos da atividade muscular (Daugherty, 1998). Outra consequência é o *stress* causado à coluna vertebral que muitas das vezes é desproporcional relativamente a ambos os lados do dorso, causando defeitos posturais espinhais temporários ou crónicos e síndromes de compressão neurológica. (Mazloum, Nozad, & Kumashiro, 2006). A origem destas consequências resulta do esforço desencadeado pelos músculos para suportarem os membros, a cabeça ou tronco contra a gravidade (Daugherty, 1998).

A segunda categoria inclui tarefas de manipulação de cargas, tarefas de empurrar ou puxar objetos pesados. Nestas situações, o esforço exigido à coluna lombar e o risco de lesão depende de diversos fatores, nomeadamente: a posição da carga em relação à charneira da coluna no início e no fim das elevação; as características dos objetos (tamanho, forma, peso, estabilidade, a qualidade da pega ou existências/ausência de dispositivos de ajuda); a geometria do espaço de trabalho (sendo que poderá ser limitante para a utilização da técnica correta de elevação ou de pega); os ângulos de flexão e de rotação da coluna; a frequência das manipulações (Barreiro et al., 2012).

Importa também dar especial atenção a fatores de risco, que muitas vezes são negligenciados pelos trabalhadores durante a manipulação manual de carga, nomeadamente: a rotação da coluna e a instabilidade das cargas. Para que a rotação da coluna seja possível, a contração dos músculos de suporte da coluna vertebral torna-se pouco intensa. Isso torna particularmente vulneráveis a musculatura da coluna e a integridade dos discos intervertebrais da zona, em especial se as cargas forem pesadas. A instabilidade da carga pode ser posta em causa na elevação e transporte de materiais. Cargas pouco estáveis podem dar origem a deslocações bruscas do centro de gravidade, provocando desequilíbrios difíceis de controlar. Estes obrigam os operadores a esforços inesperados que constituem fatores de risco significativo (Barreiro et al., 2012).

Na globalidade da temática dos fatores de risco de LMERT da região dorsal, apresentam-se as conclusões de alguns dos inúmeros estudos neste campo. Segundo, Roffey *et al.* (2010), a movimentação dinâmica de cargas geralmente envolve o desempenho repetitivo e muitas vezes simultâneo de movimentos de flexão, torção, transporte ou elevação, cada um dos quais com potencial para causar dor lombar devido à flexão excessiva da lombar, à distensão de ligamentos e forças de compressão. Num outro estudo, realizado por Holtermann *et al.* (2013), é demonstrado que o levantamento e transporte ocupacional repetido, realizado com inclinação frontal da coluna pode aumentar o risco de desenvolvimento de dores lombares, mesmo que sejam utilizadas cargas leves. Isto parece acontecer, devido ao aumento da pressão nos discos intervertebrais predispondo os músculos e os discos à lesão.

Os fatores inerentes ao ambiente físico do local de trabalho, também contribuem para o aparecimento de LMERT da zona lombar. Por exemplo, o ambiente térmico, cujas variáveis mais críticas são a temperatura e a humidade. Também as vibrações ocupacionais, que causam movimentos dinâmicos involuntários também podem causar traumas. Contudo, os fatores

ambientais não influenciam diretamente as LMERT pois o seu efeito principal é, acima de tudo, de fadiga fisiológica geral (Daugherty, 1998).

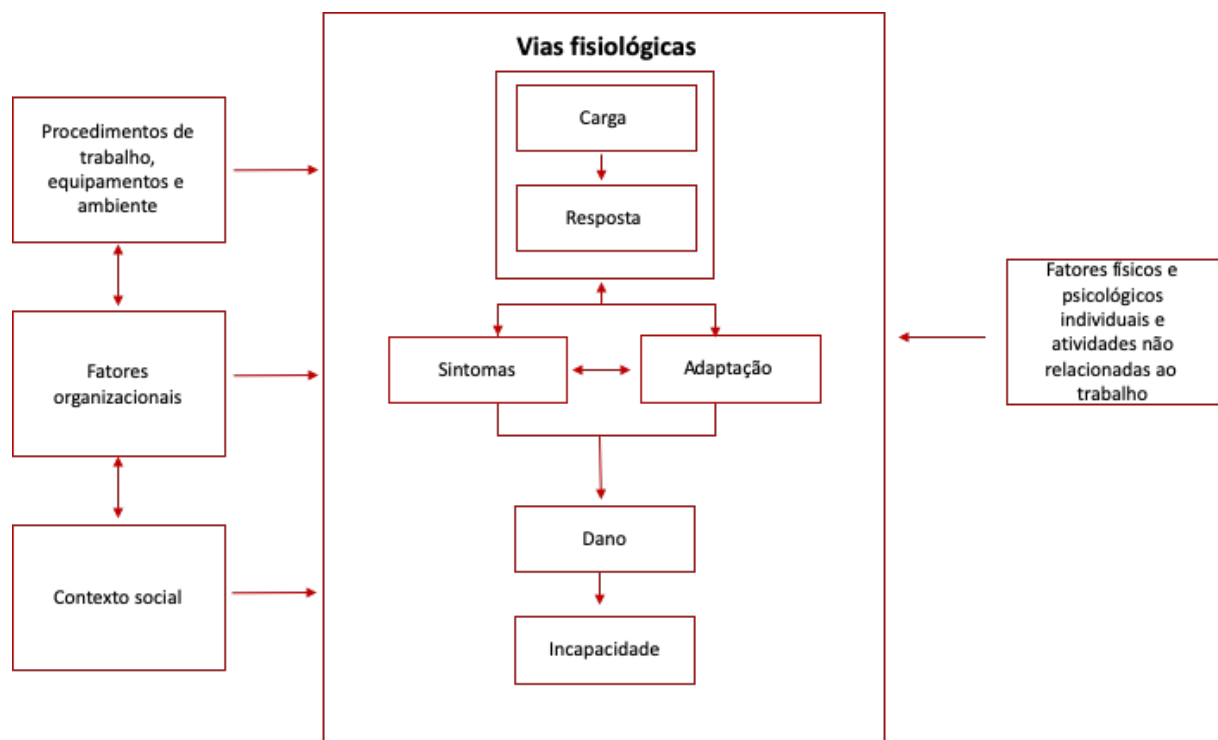
Também os fatores de âmbito psicossocial/ organizacional podem estar na base do aparecimento de LMERT da região do dorso. O baixo suporte social (relacionamento com os colegas de trabalho e supervisores e problemas relacionais com os mesmo) no posto de trabalho é exemplo disso. Outro exemplo é a baixa satisfação com o trabalho. Numa revisão sistemática da literatura, conduzida por Hoogendoorn *et al.* (2000), é evidenciado que estes dois fatores possuem associações positivas com aparecimento de LMERT da região do dorso, na medida em que aumentar o *stress* percebido no ambiente ocupacional.

Para além dos fatores de risco de natureza ocupacional, também os fatores de natureza pessoal podem influenciar a maior ou menor capacidade para a realização de determinadas tarefas, sendo os mais importantes o sexo, a idade, a robustez física, as dimensões antropométricas, o nível de treino e outros fatores condicionantes, tais como LMERT anteriores (Barreiro *et al.*, 2012). Relativamente à idade ainda se acrescenta que, a força muscular diminui com a mesma, isto é, tipicamente aos 40 anos de idade a força muscular é 90% da força muscular dos 20 anos de idade, aos 50 anos é 85% e aos 60 anos é de 60%. E ainda que, segundo Daugherty (1998), fatores como a falta de treino poderá conduzir à acumulação de gordura corporal, o que impede a normal habilidade de contração e de produção de força do músculo, resultado numa menor capacidade de levantamento de cargas comparativamente a uma pessoa com menor índice de gordura corporal.

Um estudo desenvolvido por Mazloun *et al.* (2006), acerca dos fatores de risco individuais causadores de LMERT da região do dorso, mostra que relativamente à idade, a duração da dor lombar é maior nas pessoas mais velhas. Este fator parece estar relacionado com a diminuição da densidade mineral óssea da coluna. Quanto à altura ou estatura dos trabalhadores foi demonstrado que a capacidade para transportar cargas diminuiu com o aumento da altura das pessoas, evidenciando que pessoas mais altas são mais suscetíveis à dor lombar do que as outras. Também o peso corporal foi alvo deste estudo. Quanto a este fator, foi apontado que indivíduos com maior percentagem de índice de massa corporal têm um maior risco de desenvolver traumas lombares, uma vez que à medida que o peso corporal aumenta, o consumo de energia e o metabolismo também aumentam. Isso significa que, num trabalho semelhante, os indivíduos com

maior peso estão sujeitos a um maior *stress* fisiológico causando mais rapidamente fadiga e a problemas cardiovasculares.

Todos os fatores de risco supramencionados não atuam isoladamente, existindo interações entre eles, potenciando os efeitos para a saúde dos trabalhadores. Essa interatividade é demonstrada num modelo conceptual (Figura 3) delineado pelo Conselho Nacional de Pesquisa onde está incluída os papeis de cada um dos fatores de risco no desenvolvimento de LMERT (National Research Council, 1999).



**Figura 3:** Modelo conceptual dos fatores de risco de desenvolvimento de LMERT do conselho Nacional de Pesquisa(adaptado de National Research Council, 1999).

A via fisiológica central mostra, primeiramente, a relação biomecânica entre a carga e a resposta biológica do corpo. A manipulação de cargas pode induzir diversas respostas do tecido. Se a carga exceder uma tolerância mecânica da que determinada estrutura do dorso pode suportar, ocorrerão danos. Por exemplo, se a carga a manipular for pesada o suficiente poderão ocorrer danos nos discos intervertebrais. Outras formas de resposta podem acarretar reações como inflamação do tecido, edema e respostas bioquímicas. No entanto, impor uma certa carga biomecânica aos tecidos musculoesqueléticos também pode ter um efeito fortalecedor e poderá ocorrer uma adaptação(National Research Council, 1999).

As respostas, sintomas e adaptações podem levar ao comprometimento funcional. Em contexto laboral, isso gerará uma LMERT. Se for suficientemente grave, esta poderá levar a uma incapacidade que se traduz em limitações de tarefas ou de dias de trabalho perdidos, por exemplo (National Research Council, 1999).

A parte esquerda do modelo mostra fatores ambientais que podem afetar o desenvolvimento de LMERT, incluindo procedimentos de trabalho, equipamentos e ambiente, fatores organizacionais e contexto social. A parte direita do modelo mostra a influência de fatores físicos e psicológicos individuais, além de atividades não relacionadas ao trabalho, que podem afetar o desenvolvimento de LMERT (National Research Council, 1999).

#### 2.2.5 Medidas preventivas de LMERT da região das costas

De uma maneira geral, podem ser descritos três fases de prevenção. Com a prevenção primária, o objetivo é evitar o aparecimento de LMERT da região dorsal. O objetivo da prevenção secundária é interromper o desenvolvimento de distúrbios da coluna, para evitar o aparecimento de dor crónica e a recorrência de uma lesão na zona. Na etapa de prevenção terciária, o objetivo é reduzir a incapacidade resultante de uma LMERT agravada (Beeck & Hermans, 2000).

A ênfase é colocada na prevenção primária no local de trabalho. Contudo, devido à alta prevalência de LMERT nas costas no contexto ocupacional atual, a fase secundária, como também a fase terciária têm vindo a ganhar relativa importância (Beeck & Hermans, 2000). As medidas contempladas pela fase primária incluem a redução dos riscos no local de trabalho, e mais especificamente a formação dos trabalhadores e fatores de organização do trabalho (Beeck & Hermans, 2000). Os tipos de intervenções para reduzir os riscos no local de trabalho incorporam a eliminação de tarefas de manipulação de cargas ou outras que causem sobrecarga física aos tecidos do corpo. Para tarefas de manipulação de cargas manual, isso pode ser alcançado através da automação de tarefas, de forma que o trabalhador execute apenas tarefas de controlo ou vigilância. Contudo, esta solução é muito radical e muitas vezes pode levar à introdução de outros problemas relacionados com trabalho, por exemplo, uma mudança para tarefas mais repetitivas. Portanto, outras estratégias de prevenção também devem ser consideradas para reduzir a quantidade e as exigências físicas das tarefas de manipulação manual. Várias estratégias são possíveis (Frank et al., 1996): ajustes no trabalho para reduzir as exigências físicas (por exemplo, usando dispositivos mecânicos de manipulação de cargas) ou alterações nos fatores

organizacionais (por exemplo, organização de pausas e rotação de postos de trabalho) e formação de trabalhadores para aumentar a sensibilização sobre os riscos e as corretas técnicas de trabalho em termos posturais.

As medidas de intervenção secundária abrangem a aplicação de medidas após a ocorrência de uma lesão lombar relacionada com o trabalho. As intervenções são, portanto, destinadas a prevenir a recorrência e redução dos efeitos. Dado que a história médica anterior de uma lesão está ligada à ocorrência de uma nova lesão, isso enfatiza a necessidade de prevenir o aparecimento de LMERT em primeiro lugar, através da prevenção primária (Beeck & Hermans, 2000). No entanto, é muito importante uma abordagem integrada para a mitigação de riscos e o apoio ao retorno de trabalhadores afetados através de tratamento e reabilitação. As questões organizacionais do trabalho são claramente importantes, mas também os corretos cuidados de saúde (Burton & Erg, 1997).

Nesta fase, o mais importante do tratamento é que o retorno do trabalhador ao local de trabalho seja cuidadosamente orientado. Um programa de retorno ao trabalho bem planeado deve incorporar uma avaliação de riscos e um controlo de tarefas ou condições perigosas ocupacionais para evitar recidivas e danos contínuos. As intervenções no local de trabalho e na área da saúde são importantes. Acrescenta-se ainda que ao analisar as questões de tratamento e reabilitação, é importante distinguir entre os diferentes estágios de desenvolvimento de LMERT da lombar, pois a intervenção recomendada difere de acordo com o estágio específico (lesões lombares agudas ou crônicas) (Beeck & Hermans, 2000).

Por fim, a última fase de prevenção, prevê a implementação de um programa completo de ergonomia, numa abordagem holística, de forma a incluir as duas fases anteriormente sugeridas. Esta abordagem ergonómica integra o efeito do equipamento, o ambiente de trabalho e a organização do trabalho, bem como o trabalhador. Numa ótica participativa, a comunicação plena com trabalhadores, permitindo que estes integrem o processo com as suas próprias sugestões de melhoria, é importante para sua eficácia (WHO, 2002).

Segundo um relatório de WHO (2002), as estimativas obtidas em vários estudos observacionais demonstram que a maior melhoria na saúde da população - uma redução de 74% na incidência de dores nas costas - seria obtida a partir do programa completo de ergonomia. Benefícios mais baixos no nível de saúde população seriam alcançados por outras intervenções: uma redução de

60% através de medidas de engenharia e formação de trabalhadores, uma redução de 56% apenas através medidas de engenharia e uma redução de 20% por apenas formação de trabalhadores.

### **2.3 Os exoesqueletos**

Na última década, o paradigma da Indústria 4.0 levou muitas empresas a implementar várias soluções tecnológicas e automações de processos. Essa revolução tecnológica visa tornar a produção industrial mais eficiente, mais flexível e de maior qualidade (Diez-olivan et al., 2018). Todavia, esta tendência de contínua automação e mecanização da indústria não solucionou todos os fatores de risco inerentes a um local de trabalho. Um relatório do Eurofound (2012) mostra que muitos trabalhadores ainda se encontram expostos a fatores de risco inerentes à aquisição de LMERT da zona lombar. Nomeadamente, 30% da população Europeia trabalhadora encontra-se exposta a tarefas de manipulação de cargas, 63% a tarefas que requerem manipulações repetitivas e 46% a tarefas em que as posturas corporais desajustadas são requeridas.

Estes dados continuam a verificar-se pois a automação completa de processos nem sempre é possível. Por exemplo, em ambientes dinâmicos de fabricação ou armazenamento, existe uma grande variabilidade de produtos no que concerne a, por exemplo, tamanhos e formas. Quando a variabilidade inerente aos processos de fabricação de diversos produtos é grande a automação total não é exequível ou é extremamente cara. Neste contexto, continua a ser necessária a capacidade humana de observar, decidir e adotar ações apropriadas em segundos (de Looze et al., 2016).

Dado o exposto, tem-se verificado, na indústria moderna, um movimento crescente em direção à colaboração entre robôs e humanos no sentido de aprimorar em conjunto o uso da robótica sem descorar a flexibilidade dos seres humanos. Uma dessas soluções seria a utilização de exoesqueletos. Estes equipamentos podem ser definidos como uma estrutura mecânica externa passível de ser vestida que aumenta o poder físico de uma pessoa (Abdoli-E, Agnew, & Stevenson, 2006; Bosch et al., 2016; de Looze et al., 2016; Koopman, Kingma, Faber, de Looze, & van Dieën, 2019; Lee et al., 2012; Ulrey & Fathallah, 2011; Whitfield, Costigan, Stevenson, & Smallman, 2014).

A tecnologia inerente aos exoesqueletos tem vindo a amplificar aquilo que o corpo humano é capaz de fazer ou suportar. O corpo por si só apenas pode levantar muito peso ou manter uma determinada posição por um determinado período de tempo sem correr o risco de lesão. Os

exoesqueletos poderão ser uma ferramenta que possibilitará os indivíduos de realizarem trabalho físico pesado em segurança.

Os exoesqueletos projetados para dar suporte a tarefas de trabalho manual em ambientes industriais já se encontram disponíveis comercialmente. Algumas empresas já começaram a realizar testes pilotos, e diversas pesquisas laboratoriais encontram-se em andamento. A utilização de exoesqueletos pode acarretar inúmeras potencialidades e, por isso, existe um interesse crescente na sua utilização em contexto industrial (de Looze et al., 2016).

### 2.3.1 Enquadramento histórico do uso de exoesqueletos

O trabalho científico e tecnológico do desenvolvimento dos exoesqueletos começou no início dos 1960. O Departamento de Defesa dos EUA interessou-se por desenvolver o conceito de “armadura” elétrica para utilização em contexto militar. Essa armadura poderia aumentar as capacidades de elevação e de transporte de um soldado (Lowe, Billotte, & Peterson, 2019; Pons, 2008; Schnieders & Stone, 2017).

A *General Electric* (GE) foi a primeira a desenvolver um exoesqueleto, chamado *Hardiman*. Foi desenvolvido por Ralph Mosher, um engenheiro da GE entre 1960 e 1971. O equipamento era alimentado energia hidráulica e elétrica. Esta primeira tentativa não foi bem conseguida, pois o equipamento era muito pesado e limitado no que concerne à velocidade para caminhar. Para além disso, os movimentos violentos incontrolados também impediam os testes com seres humanos (Lowe et al., 2019; Schnieders & Stone, 2017).

Paralelamente, em 1962, a força Aérea dos EUA encomendou um estudo ao Laboratório *Cornell Aeronautical*. Esse estudo almejava a criação de um sistema robótico que fosse capaz de amplificar a força de uma pessoa. Dada a tecnologia da altura, vários problemas técnicos foram surgindo, o que inviabilizou a validação do equipamento (Schnieders & Stone, 2017).

A pesquisa e o design dos exoesqueletos continuaram. Mais tarde, no início dos anos 2000, a Agência de Projetos de Pesquisa Avançada em Defesa dos EUA (DARPA) começou a aprimorar e demonstrar este tipo de tecnologias. O resultado do trabalho desenvolvido por esta entidade, em 2007, transitou para o Centro de Pesquisa, Desenvolvimento, e Engenharia dos Soldados de *Natick* (NSRDEC). Em 2014, o Instituto de Nacional de Padrões e Tecnologia (*NIST*), convidado pela NSRDEC participou de uma mesa redonda para discutir os desafios e direções futuras desta tecnologia (Lowe et al., 2019).



Oficialmente, a utilização em contexto ocupacional surgiu quando, em 2015, o Instituto Nacional de Segurança e Saúde Ocupacional (NIOSH), por insistência de diversos interessados e criadores de produtos do setor industrial, entrou em contacto com a agência do Departamento de Defesa dos EUA no sentido de aprimorar as capacidades desta tecnologia para aplicações industriais. Estes interesses e discussões comuns levaram à formação de um grupo de trabalho (Lowe et al., 2019).

No ano seguinte, o NIST organizou uma reunião preliminar com várias entidades, das quais o instituto NIOSH, com o intuito de discutir o estado atual dos padrões de segurança, desempenho, ergonomia e segurança cibernética dos exoesqueletos. Em 2017, realizou-se uma reunião pública com cerca de 100 organizações interessadas. Estas incluíam 44 entidades industriais, 35 do governo e 19 da universidade. Os objetivos da reunião foram: (1) identificar lacunas nos padrões atuais dos exoesqueletos, incluindo terminologia, métodos de teste e métricas de desempenho nos setores industrial, militar e médico; (2) facilitar o envolvimento de todas as partes interessadas no desenvolvimento dos equipamentos à medida que progridem; e (3) promover avanços tecnológicos, construindo relações entre os principais interessados. No final da reunião, houve forte concordância entre os participantes de que eram necessários métodos de teste padrão para validar a usabilidade dos exoesqueletos às tarefas e que seriam necessárias reuniões futuras mais detalhadas para aumentar a coordenação e os esforços (Lowe et al., 2019).

Uma reunião subsequente com foco específico nas aplicações industriais dos exoesqueletos ocorreu em junho de 2017. Essa reunião tinha como objetivo envolver a comunidade robótica na temática das aplicações industriais dos exoesqueletos, com o objetivo primordial de proliferar a sua utilização em contexto ocupacional. Outros objetivos foram: (1) identificar oportunidades para transferir conhecimentos e tecnologias de aplicações médicas e militares para aplicações industriais; e (2) discutir as necessidades de terminologia e padrões segurança para implementação deste tipo de dispositivo em todos os campos em que a sua utilização possa conferir uma vantagem. Um resultado importante desta reunião foi uma votação para avançar com a *ASTM International* como organização de desenvolvimento de padrões para exoesqueletos (Lowe et al., 2019). O comité designado de *ASTM international F48*, tem como objetivo incentivar a pesquisa neste campo e patrocinar simpósios, oficinas e publicações e facilitar o desenvolvimento de normas. O trabalho deste Comité é coordenado com outros comités técnicos e organizações da ASTM com interesses mútuos ou relacionados (ASTM, 2019).

Os subcomités da *ASTM international F48* dedicam o seu trabalho a temáticas como segurança, qualidade, desempenho, ergonomia e terminologia para sistemas e componentes durante todo o ciclo de vida dos exoesqueletos - desde antes da sua utilização até a manutenção e o declínio - incluindo considerações de segurança e tecnologias de informação. As atividades abrangem aplicações industriais, de resposta a emergências, aplicações médicas, militares e de consumidores (ASTM, 2019).

As necessidades de pesquisa e de melhoramento dos exoesqueletos são emergentes, pelo que diversos estudos científicos se têm debruçado na experimentação dos equipamentos em tarefas industriais (Theurel & Desbrosses, 2019). Prova disso, é o facto de algumas indústrias já começarem a implementar a utilização dos exoesqueletos nas suas fábricas, mesmo que em testes piloto. Exemplos disso são:

1. Hyundai: em outubro de 2018, o *Hyundai Motor Group* anunciou que começaria a testar seu *Hyundai Vest Exoskeleton*, um equipamento que reduz a pressão no pescoço e nas costas dos trabalhadores. Estes testes decorreram numa fábrica norte-americana Hyundai-KIA. Também o mesmo grupo, em agosto de 2017, iniciou testes do Exoesqueleto *Hyundai Chairless*, um dispositivo mantém a posição sentada dos trabalhadores;
2. Ford: Após a sequência de um teste piloto, que teve início a novembro de 2017, realizado com uma empresa fabricante de exoesqueletos, a Ford anunciou, a agosto de 2018, que passaria a utilizar de 75 exoesqueletos para a parte superior do corpo dispersos por 15 fábricas do grupo;
3. BMW: A fábrica de montagem da BMW na Carolina do Sul está, atualmente, a utilizar o exoesqueleto AIRFRAME para a parte superior do corpo da empresa *Levitate Technologies* (Kara, 2018).

As décadas de pesquisa sobre exoesqueletos, os avanços nas tecnologias facilitadoras e aumento do investimento resultaram num setor industrial onde os exoesqueletos começam a fazer parte. Em alguns casos já se verifica que os projetos piloto e testes laboratoriais começam a dar lugar ao trabalho quotidiano. Ainda assim, apesar de os exoesqueletos parecerem apresentar soluções para aquilo que medidas preventivas de LMERT até então implementadas têm vindo a falhar, são necessários ainda diversos estudos que possam conferir padrões de segurança para a sua

utilização globalizada. Posto isto, parece ser necessário ter cautela, em alguns casos, onde, a implementação destes equipamentos possa influenciar diretamente a saúde dos operadores.

### 2.3.2 Normas aplicáveis

A Organização Internacional de Padronização (ISO), cria documentos com o intuito de fornecerem requisitos, especificações, diretrizes ou características que podem ser usadas de forma consciente de maneira a que se possa garantir que os materiais, produtos e serviços sejam adequados à sua finalidade (ISO, 2019). Esta organização criou um documento que atende aos requisitos de segurança de robots pessoais, alguns dos quais são considerados exoesqueletos. Essa norma denomina-se de ISO 13482:2014 e possuiu partes aplicáveis a um subconjunto de exoesqueletos, contudo não abrange a diversidade existente de exoesqueletos da atualidade (Lowe et al., 2019).

A ISO 13482 reconhece que, embora os exoesqueletos possam aumentar certas capacidades humanas, o seu uso apresenta novos perigos potenciais. Alguns desses riscos resultam do contacto direto do exoesqueleto com o usuário, enquanto outros são semelhantes aos dos robôs que operam no ambiente industrial. A norma enfatiza a necessidade de identificação e avaliação de riscos para que as operações com os equipamentos sejam seguros (Lowe et al., 2019).

Um outro padrão existente foi elaborado pela Associação Japonesa de Padrões (JSA), e denomina-se JIS B 8456-1. Este padrão debruça-se sobre os exoesqueletos de suporte lombar e especifica requisitos de desempenho e segurança em um consenso entre fabricantes, consumidores e outros órgãos neutros (Lowe et al., 2019).

Os padrões e questões regulatórias relacionadas ao uso destes equipamentos em ambientes industriais, embora significativos, ainda não são tão amplos e complexos quanto os dos exoesqueletos para fins médico (Kara, 2018). Considerando que estes equipamentos causarão mudanças disruptivas no ambiente ocupacional, torna-se fulcral que todas as questões relativas aos seus impactos sejam respondidas. É necessário, por isso, um tempo adicional para que o impacto seja avaliado e para que tal aconteça são necessários mais estudos que levem em conta todas as variáveis inerentes a estes equipamentos. Assim, só com o verdadeiro conhecimento dos eventuais impactos causados na saúde dos trabalhadores é que se poderá criar normas regulatórias para a sua utilização tendo em vista a segurança dos trabalhadores em primeiro lugar.

### 2.3.3 Tipologias de exoesqueletos

Os exoesqueletos, segundo o mecanismo de articulação, podem ser classificados como "ativos" ou "passivos". Este é o sistema de classificação comumente mais utilizado nos diversos estudos científicos da área. Um exoesqueleto ativo compreende um ou mais mecanismos energizados que aumentam o poder físico do utilizador. Esses mecanismos suscetíveis de energizar o equipamento podem ser motores elétricos, mecanismos hidráulicos, ou outros tipos. Um sistema estritamente passivo não usa nenhum tipo de mecanismo passível de fornecer energia, mas sim materiais, tais como molas ou amortecedores com a capacidade de armazenar energia captada pelo movimento humano e usá-la conforme necessário para apoiar uma postura ou um movimento. Um exoesqueleto passivo, por exemplo, pode armazenar energia quando uma pessoa se inclina para a frente e, enquanto estiver nessa posição, essa energia pode ajudar a pessoa a manter essa posição ou a erguer o corpo enquanto levanta um objeto.

Também podemos classificar os exoesqueletos pelas partes do corpo suportadas: fornecendo energia ou apoio aos membros inferiores (exoesqueletos da parte inferior do corpo), às extremidades superiores (exoesqueletos da parte superior do corpo) e às extremidades superior e inferior (exoesqueletos de corpo inteiro).

Finalmente, exoesqueletos podem ser classificados de acordo com o nível em que o equipamento se encaixa ou se assemelha à antropometria humana. Os exoesqueletos antropomórficos possuem articulações com eixos rotacionais alinhados com o movimento rotacional das articulações humanas. Um exoesqueleto totalmente antropomórfico permite que o equipamento faça os mesmos movimentos que o utilizador, oferecendo assim uma grande liberdade de movimento. Contudo, estes equipamentos apresentam grandes desafios de design para garantir um ajuste perfeito aos utilizadores de tamanhos diferentes. Os exoesqueletos não antropomórficos são geralmente mais simples e podem ser projetados para ter uma estrutura otimizada para determinadas tarefas específicas, permitindo um consumo de energia mais eficaz do que os equipamentos antropomórficos.

### 2.3.4 Domínios de aplicação dos exoesqueletos

Os exoesqueletos começam a ser utilizados num vasto domínio de aplicação. Segundo Lowe *et al.* (2019), estes equipamentos podem ser utilizados para fins medicinais, militares, industriais, de segurança pública e pessoais.

Os equipamentos com propósito médico são utilizados em pacientes amputados, feridos e/ ou com alguma incapacidade física, com o intuito de aumentar a mobilidade destes ou melhorar a sua estabilidade para fins de fisioterapia aprimorada. A sua utilização pode acelerar a recuperação, beneficiando não só os pacientes como também os profissionais de saúde e segurados.

Os exoesqueletos com propósito militar são utilizados pelos soldados que podem beneficiar com o uso deste equipamento, na medida em que lhes poderá auxiliar a percorrer maior distâncias em marcha com menor fadiga, mover cargas com maior facilidade e segurança e transportar um maior número de equipamentos militares (armas, por exemplo).

No que concerne à utilização em contexto industrial, os exoesqueletos são utilizados em tarefas com uma determinada sobrecarga física, nomeadamente em manipulação de cargas, agachamentos frequentes e elevação estática dos membros superiores, por exemplo. A sua utilização poderá acarretar um melhor desempenho resultante de uma performance mais duradoura, um menor impacto para o corpo com a possível diminuição de riscos de acidente. No seu todo, poderão aumentar a produtividade operacional.

Também no domínio da segurança pública, os exoesqueletos poderão apresentar potencialidades. Os socorristas poderão beneficiar destes equipamentos para mover objetos maior no resgate a vítimas em escombros e também para transportar uma maior quantidade de equipamentos, como garrafas de oxigénio, em situações adversas.

Por fim, os exoesqueletos também poderão ter um fim recreativo/pessoal. A sua utilização poderá passar por desportos (por exemplo, esqui), trabalhos em casa ou no quintal e outras tarefas fisicamente exigentes.

Apesar de todos estes domínios apresentados, até aos dias de hoje, o principal domínio de aplicação dos exoesqueletos tem sido para fins médicos ou de reabilitação. Um pequeno número de exoesqueletos também foi projetado para aplicações militares (Bosch et al., 2016). Recentemente, os exoesqueletos têm vindo cada vez mais a fazer parte do domínio industrial, devido às potencialidades que estes equipamentos aparentam apresentar (de Looze et al., 2016).

#### 2.3.5 Aplicação dos exoesqueletos em contexto industrial

Dado o exposto anteriormente, verifica-se que as LMERT são recorrentes nos ambientes industriais. E por esta razão, não é surpreendente que tenham sido desenvolvidas inúmeras medidas preventivas para colmatar estes problemas. Algumas dessas medidas passam pela

implementação de equipamentos mecanizados, utilizados para auxiliar os trabalhadores em tarefas manuais. Contudo, estas medidas nem sempre são viáveis devido a restrições do espaço de trabalho ou por não serem práticas (Näf et al., 2018).

Com o intuito de mitigar as LMERT e apresentar novas medidas preventivas, tem se verificado, recentemente, o desenvolvimento de dispositivos de assistência na indústria. Isto é mensurável pelo número de projetos existentes com o intuito de auxiliar os operadores com a carga de trabalho. Exemplos disso são os robôs, robôs colaborativos e os equipamentos de assistência passíveis de serem vestidos como é o caso dos exoesqueletos (Moyon, Poirson, & Petiot, 2018). Com relação a isto, nas últimas décadas, vários exoesqueletos com propósito industrial foram desenvolvidos (de Looze et al., 2016). O seu objetivo é auxiliar os trabalhadores em tarefas manuais. Estes variam desde exoesqueletos para apoio de membros superiores, membros inferiores e costas até exoesqueletos que suportam o corpo todo (Näf et al., 2018), sendo que a maioria dos equipamentos analisados ou utilizados são essencialmente para fornecer suporte aos membros superiores e costas (de Looze et al., 2016; Huysamen et al., 2018). Os primeiros foram projetados para fornecer suporte postural dos membros superiores em tarefas que requerem o seu levantamento, os segundos foram desenhados para auxiliar na flexão do tronco ou apoiá-lo para evitar lesões nas costas.

Dentro da diversidade de exoesqueletos existentes na atualidade, os mais utilizados em contexto ocupacional são os exoesqueletos passivos, que apesar de menos eficazes, são mais fáceis de introduzir nas linhas de montagem (Spada, Ghibaud, Gilotta, Gastaldi, & Pia, 2017). Esta realidade parece estar relacionada com o facto de estes equipamentos serem mais leves e não possuírem nenhuma interface digital de controlo. Com relação aos exoesqueletos ativos, embora possam oferecer mais suporte, costumam ser mais caros e mais pesados, e não há conhecimento suficiente para a sua implementação segura em contexto ocupacional (Alabdulkarim, Kim, & Nussbaum, 2019), pelo que a sua introdução neste contexto poderá demorar ainda alguns anos (Spada et al., 2017). Portanto, o foco nesta revisão bibliográfica será nos exoesqueletos passivos, especialmente considerando que vários desses dispositivos já se encontram a ser comercializados.

Considerando que as aplicações industriais dos exoesqueletos passivos é um conceito bastante recente, será de prever que a pesquisa e o desenvolvimento destas tecnologias ainda seja bastante embrionário e que por isso existam alguns conceitos que não foram testados além do laboratório (Huysamen et al., 2018). A falta de clarificação poderá passar pelas “consequências não

intencionais”, tais como o aumento da exigência física em outras partes do corpo que não as que um determinado exoesqueleto pretende auxiliar (Alabdulkarim et al., 2019).

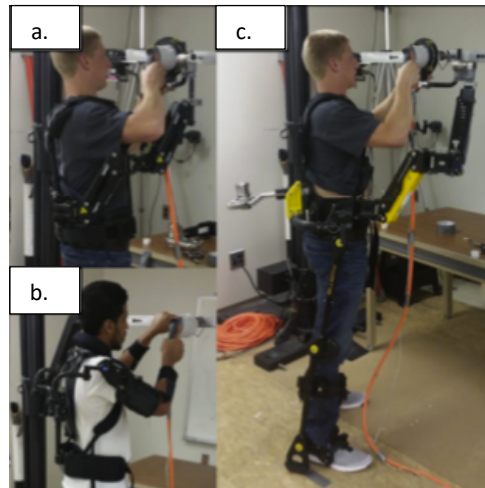
Dado o aparecimento recente dos exoesqueletos no domínio ocupacional, é compreensível que os seus efeitos sejam reportados em poucos estudos. A maioria deles inclui apenas um pequeno número de participantes e, geralmente, não são trabalhadores de fábrica. Os protocolos de teste comumente utilizados envolvem a repetição de determinadas tarefas que se assemelhem às tarefas industriais, incluindo comparações dos indivíduos com e sem uso de exoesqueleto (Spada et al., 2017).

Posto isto, apresentam-se de seguida as principais conclusões obtidas, de alguns autores dos artigos revistos evidenciando a influência na carga física durante o uso de exoesqueletos passivos, considerando também as perceções dos utilizadores dos equipamentos. No subcapítulo seguinte só se apresentam estudos referentes a exoesqueletos de membros superiores, uma vez que os exoesqueletos para suporte das costas serão abordados em 2.3.7.

#### 2.3.6 Exoesqueletos ocupacionais passivos para os membros superiores

Alabdulkarim et al., (2019) comparam três exoesqueletos (Figura 4): (1) o *Fawcett Exovest™*, com um braço supranumerário conectado ao exoesqueleto que suporta uma ferramenta e transmite cargas para as ancas; (2) o *EksoWorks™*, um exoesqueleto antropométrico capaz de suportar o braços; e (3) o *FORTIS™*, um exoesqueleto de corpo todo com um braço supranumerário conectado que transmite o peso da ferramenta para o chão. Também a condição sem exoesqueleto foi testada. A tarefa avaliada simulava uma tarefa de perfuração ocupacional sob três níveis de precisão, definidos pelos tamanhos dos orifícios exigidos. As variáveis em estudo foram a exigências físicas (esforço percebido e ativação muscular) e a qualidade das perfurações realizadas. Em termos de qualidade, verificou-se que os exoesqueletos com braços supernumerários (1 e 3) aumentaram o número de defeitos de perfuração, e que o exoesqueleto antropométrico (2), apesar de apresentar melhores resultados que os dois exoesqueletos anteriores, apresentava mais defeitos de perfuração comparativamente à condição sem exoesqueleto. Com relação ao esforço percebido, o *EksoWorks™* (2) reduziu o esforço percecionado pelos trabalhadores nos ombros, parte superior do braço e zona lombar, comparativamente à condição sem exoesqueleto. Os exoesqueletos com braços supranumerários (1 e 3) embora não tenham evidenciado alterações no esforço percecionado do ombro e da parte

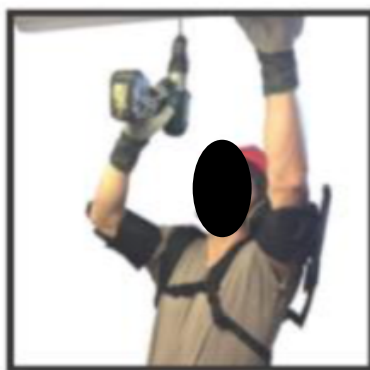
superior do braço, apresentaram aumento desta variável para a zona lombar e coxas, comparativamente à condição sem exoesqueleto. Por fim, relativamente à ativação muscular verificou-se, que o exoesqueleto *EksoWorks™* (2) diminuiu significativamente a atividade muscular dos músculos avaliados, enquanto que os outros dois exoesqueletos aumentaram a atividade muscular, comparativamente à condição sem exoesqueleto.



**Figura 4:** Exoesqueletos utilizados no estudo de Alabdulkarim et al., (2019): (a.) *Fawcett Exovest™*; (b.) *EksoWorks™*; (c.) *FORTIS™*.

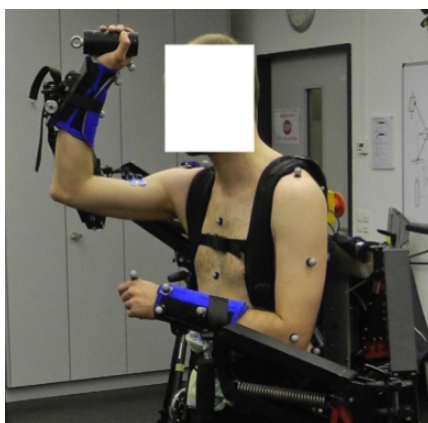
Moyon *et al.* (2018) verificaram que o exoesqueleto PAD (*Physical Assistance Device*) (Figura 5) apresenta um impacto positivo na diminuição da frequência cardíaca, associando esta evidência à diminuição da carga física durante tarefas manuais de elevação estática dos braços. Verifica-se uma diminuição de 13,5% na frequência cardíaca média e de 5,9% na frequência cardíaca absoluta média. Apesar destes resultados animadores, os autores também mencionam a necessidade de aumentar o tamanho da amostra de forma a validar estatisticamente os resultados. Em termos de adaptabilidade do equipamento aos trabalhadores, é reportada uma aceitação positiva por parte destes, apesar de existirem várias melhorias a implementar (por exemplo, melhorar o conforto para as costas, braços e facilitar a instalação e integração do exoesqueleto no trabalho diário, devido à multiplicidade de tarefas a realizar). Um outro aspeto negativo apresentado, prende-se com o facto deste exoesqueleto não ter utilidade em tarefas em que os braços estejam abaixo do nível dos ombros. Neste caso, o desconforto percecionado está relacionado com o facto de existir resistência por parte do equipamento quando os utilizadores pretendem baixar os braços, uma vez que a sua função é precisamente a oposta, ou seja, fornecer suporte em tarefas em que os braços se encontrem acima do nível dos ombros.





**Figura 5:** Exoesqueleto PAD (*Skel-Ex*) utilizado no estudo de Moyon *et al.* (2018).

O exoesqueleto de braços (Figura 6) analisado no estudo de Huysamen *et al.* (2018), comparando tarefas com e sem a utilização do equipamento, produziu uma redução de 49% e de 62% na atividade muscular do bíceps braquial e do deltoide, respetivamente. Relativamente ao tronco e às pernas não se verificou nenhuma alteração significativa na atividade muscular, o que é bastante positivo, pois como a utilização deste exoesqueleto é voltada para a diminuição da carga física dos membros superiores, uma alteração negativa nas pernas e nas costas poderia acarretar uma limitação funcional para o equipamento, inviabilizando a sua utilização. Quanto às percepções dos trabalhadores, a sobrecarga percecionada para o braço foi reduzida em 41% com o uso do exoesqueleto. Contudo, e apesar de não ser significativamente estatístico, verificou-se um aumento do desconforto e esforço percecionado no tronco e na parte inferior do corpo. A pressão local sentida foi considerada muito baixa para todas as regiões do corpo, sendo a pressão dos braços superior à do peito. A usabilidade do equipamento foi considerada aceitável. Em suma, de acordo com os autores referenciados, considerando a redução da atividade muscular e do esforço auto-reportado, é expectável que a fadiga física/muscular também diminua com uso desse exoesqueleto e, consequentemente, diminua o risco de LMERT dos membros superiores.



**Figura 6:** Exoesqueleto de braços utilizado no estudo de Huysamen *et al.* (2018).

Neste domínio, um outro estudo desenvolvido por Kim *et al.* (2018), centrou-se na avaliação de um protótipo de exoesqueleto de braços (Figura 7), evidenciando que o seu uso permitiu reduzir o pico e a atividade muscular média da região do ombro, em cerca de 45% e 50%, respetivamente. O estudo referenciado, demonstrou também que o tempo de conclusão das tarefas diminuiu em 20%, o que poderia mostrar um aumento de produtividade, contudo o número de erros aumentou, comparando com a realização das mesmas tarefas sem uso do exoesqueleto. Estes resultados poderão ser eventualmente colmatados com um período de treino mais longo para a utilização do equipamento. Em termos de desconforto percebido pelos trabalhadores, os resultados não são positivos, uma vez que não existiu redução do desconforto muscular com a utilização do exoesqueleto, à exceção do antebraço.



**Figura 7:** Protótipo de exoesqueleto de braços utilizado no estudo de Kim *et al.* (2018).

Segundo Spada *et al.* (2017), durante a utilização do exoesqueleto *Levitare* (Figura 8) foi possível aumentar em 31,1% o tempo de manutenção da postura estática de elevação dos braços. Contraditoriamente, em tarefas envolvendo movimentos repetidos dos braços o tempo de resistência de realização da tarefa diminuiu, durante a utilização do exoesqueleto comparativamente à não utilização deste. Em tarefas de precisão, o exoesqueleto mostrou-se benéfico tanto para a fadiga percebida pelos trabalhadores como para a realização da tarefa. Neste caso, os utilizadores avaliaram positivamente o exoesqueleto, acrescentando que o mesmo ajudou a realizar as tarefas com menor esforço físico e mental.



**Figura 8:** Exoesqueleto *Levitare* usado no estudo de Huysamen *et al.* (2018)

Concluindo, os estudos mencionados nesta revisão encontram-se sumariados na Tabela 2, apresentando as suas opções metodológicas e principais resultados. De um modo global, estes estudos apoiam a hipótese de que o exoesqueletos têm potencial para a redução dos fatores de risco de LMERT. Contudo, evidencia-se a necessidade de um maior número de estudos em contexto real, pois é necessário garantir padrões de segurança suficientemente elevados para a implementação em larga escala destes equipamentos em contexto real.

**Tabela 2:** Resumo das principais características de estudos revistos sobre exoesqueletos de suporte de membros superiores (apresentados por ordem cronológica da sua publicação).

<b>Autores (data)</b>	<b>Exoesqueleto usado</b>	<b>Amostra</b>	<b>Posturas/movimentos avaliados</b>	<b>Contexto do estudo</b>	<b>Metodologia</b>	<b>Principais conclusões</b>
<b>Alabdulkarim et al., (2019)</b>	<i>FawcettExovest™</i>	7 ♂	Elevação dos braços com movimentos repetidos	Laboratório	Avaliação da qualidade de perfuração; Eletromiografia de superfície; Escala de Borg.	A utilização do EksoWorks™ resultou num menor número de defeitos. O EksoWorks™ foi único que reduziu o esforço percebido nos ombros, parte superior do braço e zona lombar e que diminuiu significativamente a atividade muscular dos músculos estudados.
	<i>EksoWorks™</i>	5 ♀				
	<i>FORTIS™</i>					
<b>Moyon et al. (2018)</b>	<i>PAD (Skel-Ex )</i>	5 ♂ 4 ♀	Elevação dos braços com movimentos repetidos	Indústria	Questionário Nórdico; Protocolo de quantificação do custo cardíaco; Escala de Borg.	Diminuição da frequência cardíaca média em 13,5% e do custo cardíaco absoluto médio em 5,9%. Boa aceitação do usuário. Sugestão de melhoria do conforto de braços e costas e maior facilidade de instalação.
<b>Huysamen et al. ( 2018)</b>	Exoesqueleto de braços	4 ♂ 4 ♀	Elevação estática dos braços	Laboratório	Eletromiografia de superfície; Escala de Borg; Pressão local percecionada; Escala de usabilidade do sistema.	Redução significativa na atividade muscular do Bíceps Braquial e Deltoide em 49% e 62%, respetivamente. Sem alteração significativa nas pernas e nas costas. Redução do esforço percebido do braço em 41% e ligeiro aumento do esforço percebido do tronco e das pernas. A usabilidade considerada como aceitável.
<b>Kim et al. (2018)</b>	Protótipo de exoesqueleto	6 ♂ 6 ♀	Movimento repetitivo dos braços e / ou elevação estática dos braços	Laboratório	Eletromiografia de superfície.	Redução do pico e da atividade muscular média de vários grupos de músculos do ombro em 45% e 50%, respetivamente. Redução do tempo de conclusão em 20% (3,4s); Não existiu redução do desconforto muscular com a utilização do exoesqueleto, com exceção do antebraço.

<b>Spada <i>et al.</i> (2017)</b>	<i>Levitare</i>	31 ♂	Movimento repetitivo dos braços e / ou elevação estática dos braços e/ou atividades de precisão com os braços	Laboratório	Gravação de vídeo; Escala de Borg; Questionário de métricas de usabilidade; Questionário de aceitação de tecnologia.	Aumento de 31,1% no tempo de levantamento estático dos braços; Diminuição no tempo de resistência, em geral, de realização de tarefas de movimento repetido dos braços. Benéfico tanto para a fadiga percebida como para a realização de tarefas de precisão. Avaliação positiva, acrescentando que o exoesqueleto ajudou a realizar as tarefas com menor esforço físico e mental.
---------------------------------------	-----------------	------	---	-------------	--	--

### 2.3.7 Exoesqueletos ocupacionais passivos para suporte da zona lombar

Como já foi abordado anteriormente, uma das principais preocupações nas tarefas manuais é a manipulação de cargas, até porque esta tarefa é bastante frequente na maioria dos trabalhos. Tipicamente, a flexão frontal cria um momento lombar que deve ser equilibrado e superado pela musculatura eretora da coluna vertebral, criando assim um momento extensor que atua posteriormente aos eixos de rotação sagital das vértebras lombares. Na ausência de uma carga externa, os músculos eretores da coluna são fortes o suficiente para levantar o tronco após uma flexão frontal. No entanto, vários cálculos mostraram que apenas os músculos das costas são insuficientes para elevar o tronco quando cargas externas substanciais estão sendo levantadas (Abdoli-E et al., 2006).

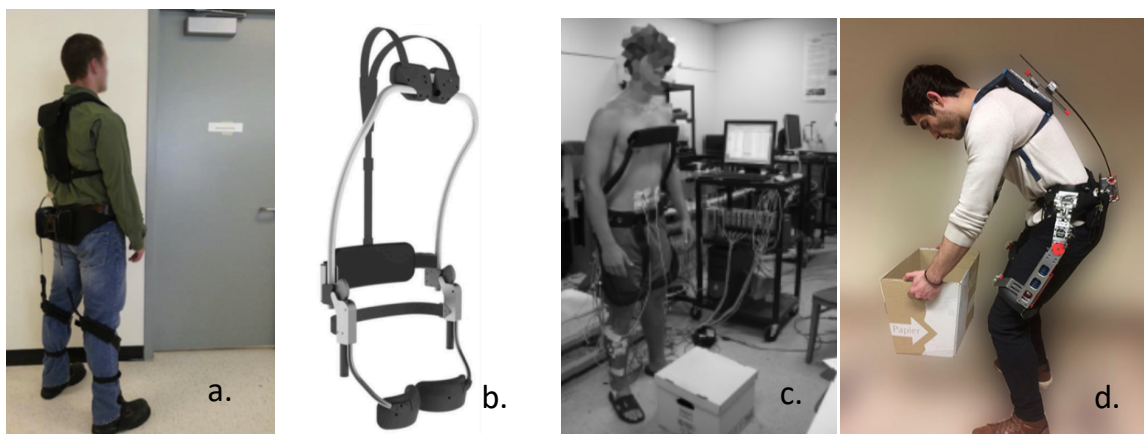
Para que seja possível levantar pesos substanciais com segurança, os operadores devem ser auxiliados por mecanismos auxiliares mecânicos. Muitas vezes, o que parece acontecer em ambiente laboral, é que cargas que se encontrem dentro da capacidade de elevação humana, continuem a ser manipuladas pelos operadores, pois a manipulação humana, muitas vezes, é mais rápida que a manipulação dos mecanismos auxiliares mecânicos (Abdoli-E et al., 2006).

Do desenvolvimento de novas tecnologias, surgem outras estratégias potencialmente preventivas. Atualmente, vários exoesqueletos passivos são desenvolvidos especificamente para apoiar os trabalhadores em tarefas que envolvem a flexão e até rotação do tronco. Estes são desenvolvidos para reduzir a exposição dos trabalhadores à compressão dos discos intervertebrais causada pelas vértebras em situações de flexão ou rotação, pois a exposição prolongada ou repetitiva a estes fenómenos pode causar fraturas da placa terminal das vértebras e danos trabeculares, degeneração dos discos intervertebrais e metabolismo celular alterado bem como hérnias discais (Graham, Agnew, & Stevenson, 2009). Assim, estes equipamentos a serem potencialmente capazes de fornecer suporte aos músculos eretores da coluna, serão capazes de prevenir a ocorrência das lesões anteriormente descritas.

Muitos destes equipamentos são ainda protótipos e ainda não se encontram a ser comercializados, outros já foram alvo de estudos e alguns já se encontram a serem implementados nos locais de trabalho. De seguida, apresentam-se alguns exoesqueletos passivos projetados para fornecer suporte à coluna lombar em tarefas industriais:

1. O *Personal Lift Assist Device* (PLAD) (Figura 9 a.) é um sistema que utiliza energia elástica para produzir um momento de apoio sobre a região lombar. Esses elementos elásticos agem em uma linha de ação semelhante aos músculos eretores da coluna vertebral, permitindo que uma parte das forças e momentos da coluna vertebral sejam transferidos para os ombros, cintura pélvica e joelhos. Assim, quando um trabalhador utiliza o equipamento durante tarefas de manipulação de cargas, os componentes elásticos são alongados para criar energia elástica durante a flexão para a frente do tronco. Essa energia armazenada é liberada na fase ascendente de um levantamento, reduzindo a exigência de energética dos músculos envolvidos no levantamento (Abdoli-E et al., 2006; Graham et al., 2009; Whitfield et al., 2014);
2. O *Laevo* (Figura 9 b.) é um exoesqueleto que consiste em três tipos de suporte: dois no peito, um nas costas e dois nas coxas. Em ambos os lados do corpo, as estruturas de suporte do peito e coxas são conectadas através de hastes com características semelhantes a molas. O exoesqueleto destina-se a transferir forças da região lombar para as almofadas no peito e nas pernas. O utilizador a se inclinar para a frente a pressão é aplicada no peito e nas pernas gerando um momento paralelo ao momento dos músculos eretores da coluna. O equipamento ainda possui ângulos de ajuste de flexão, a partir dos quais não é possível fletir mais o tronco, conferindo assim suporte lombar (Bosch et al., 2016);
3. O *Bending Non-Demand Return* (BNDR) (Figura 9 c.) consiste em cinco componentes principais: duas barras curvas inferiores que entram em contato com cada coxa, um componente superior que entra em contato com o peito e duas molas de torsão que fornecem resistência passiva durante a flexão sagital. O dispositivo é usado na cintura com um cinto acolchoado (Ulrey & Fathallah, 2011). As forças incidentes na zona lombar são transferidas para o peito e para a parte superior das pernas (Spada et al., 2017);
4. O Happyback é constituído por hastes flexíveis de fibra de vidro as quais estão presas os arreios, o cinto e as extensões das pernas;
5. O *Bendezy* consiste num elemento dorsal de alumínio e tiras que envolvem os ombros, cintura e pernas. Possui ainda molas e alavancas de contrapeso que suportam parcialmente o peso do usuário (Spada et al., 2017);

6. *Passive Spexor prototype* (Figura 9 d.) é um protótipo de exoesqueleto que possui um módulo elástico nas costas usado para fornecer uma grande amplitude de movimento e armazena energia. Esse módulo é composto por uma junta esférica e um controle deslizante linear em combinação com vigas elásticas com o intuito de oferecer flexibilidade e compensar possíveis desalinhamentos. Na zona da anca, possui três ligações paralelas em combinação com uma quarta ligação acionada em série com a junta linear do módulo das costas. Esta estrutura cumpre uma função dupla, tanto funciona como mecanismo e ajuste como estrutura de compensadora do desalinhamento (Näf et al., 2018).



**Figura 9:** Exemplos de alguns exoesqueletos ocupacionais de suporte da zona lombar: (a.) PLAD (Whitfield et al., 2014); (b.) Laevo (Bosch et al., 2016); (c.) BNDR (Ulrey & Fathallah, 2011); (d.) *Passive Spexor prototype* (Näf et al., 2018).

A assistência fornecida pelo *PLAD* no levantamento e abaixamento dinâmicos de cargas foi avaliada numa série de estudos em contexto laboratorial, por exemplo por Abdoli-E et al., (2006) e Whitfield et al., (2014). Este exoesqueleto também foi avaliado num estudo em contexto industrial por Graham et al. (2009). O resultado principal encontrado foi que o equipamento seria capaz de reduzir a atividade muscular necessária em tarefas de elevação de cargas (de Looze et al., 2016).

Especificamente, no estudo desenvolvido por Abdoli-E et al. (2006) o *PLAD* foi avaliado em tarefas de levantamento simétrico com três cargas distintas (5kg, 15kg e 25kg), comparativamente à condição sem o equipamento. Os resultados de eletromiografia mostram que o esforço muscular imposto aos músculos eretores da coluna, em situações com o equipamento diminuiu significativamente, enquanto que não se verificaram diferenças significativas ao nível da atividade muscular abdominal em comparação com a condição sem exoesqueleto. Este último resultado relacionado com os músculos abdominais é



importantíssimo, uma vez que, um aumento da atividade muscular deste grupo muscular poderia implicar a inviabilização do equipamento, pois isso significaria que o equipamento ao auxiliar na diminuição da atividade muscular de uma zona corporal (para a qual foi desenhado) estaria a afetar outra zona. Concretamente, verificou-se uma redução de 14,4% nos músculos eretores da coluna lombar, e de 27,6% nos músculos eretores da coluna torácica.

Alguns anos depois, Graham *et al.* (2009), desenvolveram um estudo em ambiente industrial (numa empresa de fabricação de automóveis) para avaliar a eficácia do *PLAD* e a aceitabilidade dos seus usuários. Para o efeito, os trabalhadores desenvolveram as suas tarefas habituais do processo de montagem, onde tarefas de flexão frontal dinâmica e estática são frequentes. Neste estudo, em concordância com o estudo anteriormente descrito, verificaram que o exoesqueleto reduzia significativamente a atividade muscular da zona inferior da coluna, sem alterar a atividade muscular dos músculos abdominais. Também verificaram que os operadores apresentaram uma aceitação positiva do equipamento, até porque 80% dos inquiridos mencionaram que usariam o exoesqueleto todos os dias no seu posto de trabalho. Acrescentando ainda que com pequenas modificações, os trabalhadores acreditam que o *PLAD* pode ser benéfico para a redução de forças lombares e desconforto em tarefas industriais.

Por fim, Whitfield *et al.* (2014) desenvolveram um estudo com o intuito de avaliar se a utilização do *PLAD* em tarefas repetitivas de manipulação de cargas afetaria o consumo de oxigénio e, ao mesmo tempo, investigar se algum efeito nesse consumo poderia ser explicado por diferenças na atividade muscular ou na técnica de elevação. Os resultados não mostraram diferenças entre o consumo de oxigénio nas condições com e sem o exoesqueleto. Em termos de eletromiografia, ao usar o exoesqueleto, verificou-se uma redução de 8,4% da atividade muscular dos músculos eretores da coluna torácica em tarefas de abaixar a carga e uma redução de 14% na atividade muscular do bíceps femoral ao levantar a carga. Na opinião dos autores, uma vez que o equipamento não teve efeito no consumo de oxigénio, os trabalhadores e os empregadores não deverão aumentar a exigência das tarefas ao utilizar este tipo de assistência.

Relativamente ao *BNDR*, este foi avaliado por Ulrey & Fathallah (2011) com o objetivo de avaliar se a utilização do *BNDR* seria uma possível intervenção para reduzir a carga na coluna lombar, reduzindo assim o risco de desenvolver LMERT nessa zona. Para tal, em laboratório,

através de uma tarefa estatística de flexão frontal do tronco avaliaram a atividade muscular de músculos da coluna e dos membros inferiores. Os resultados mostraram não haver alteração significativa na atividade muscular do eretor da coluna lombar e torácica, do reto abdominal ou do tibial anterior entre o dispositivo e as condições sem dispositivo. A única melhoria significativa encontrada foi em relação ao bíceps femoral, em que o indivíduos tiveram uma redução de 17% na atividade muscular na condição com exoesqueleto, comparativamente à condição sem. Na opinião dos autores, ainda assim o equipamento pode ser vantajoso, na medida em que, ao limitar a flexão lombar, poderá reduzir as cargas sobre os discos intervertebrais e assim ser capaz de reduzir os riscos de desenvolver LMERT nas populações que ainda utilizem a postura curvado, como é o caso dos trabalhos em ambiente agrícola.

Quanto ao exoesqueleto *Laevo*, no estudo de Bosch *et al.* (2016), permitiu reduzir entre 30% a 35% a atividade muscular da zona lombar em tarefas de inclinação estática do tronco, não se tendo verificado efeitos significativos nos grupos musculares abdominais. A resistência para a realização das tarefas aumentou de 3,2 minutos para 9,7 minutos. Relativamente à percepção do desconforto dos trabalhadores, verificou-se uma redução do desconforto da região lombar aquando a utilização do exoesqueleto. Antagonicamente, verificou-se um aumento do desconforto no peito e axilas, devido à pressão causada pelo equipamento nessas áreas de contato.

Num outro estudo, relativo ao *Laevo*, levado a cabo por Koopman *et al.* (2019), as reduções na atividade muscular dos músculos das costas observadas durante as tarefas de flexão estática com o exoesqueleto *Laevo* variaram entre 11% a 57%, dependendo das posturas experimentais (cinco diferentes alturas das mãos). Porém, verificaram um aumento entre 2% a 6% da atividade muscular dos músculos do abdómen. Neste estudo, os autores, também tinham como intenção avaliar se a atividade muscular dependia da postura da flexão adotada. Os resultados foram pouco conclusivos quanto a este ponto, uma vez que, verificaram que as relações entre a amplitude da redução da atividade muscular e a postura do tronco foram altamente variáveis entre os sujeitos, provavelmente em função da cinemática individual e / ou características antropométricas.

Numa revisão sistemática de Looze *et al.*, (2016) são abordados os exoesqueletos *Happyback* e *Bendezy*, citando Barret & Fathallah (2001). Nessa revisão é evidenciado os efeitos positivos

dos exoesqueletos na diminuição da atividade muscular dos músculos eretores da coluna da zona lombar. É mencionada uma redução de 23% com a utilização do *Happyback* e de 21% com a utilização do *Bendezy*. Contudo, verificou-se um aumento na atividade muscular da perna com a utilização de ambos os equipamentos. Ambos foram testados em laboratório em tarefas simuladas de flexão do tronco estática e manipulação de cargas.

Por último, no estudo de Näf *et al.* (2018) é considerado o uso de um exoesqueleto com feixes flexíveis – o *Passive Spexor prototype*. Este pretende preservar a amplitude de movimentos natural do corpo humano, de forma a apresentar uma maior compatibilidade com o utilizador. A correspondência entre os ângulos do equipamento e corpo humano revela uma correlação positiva significativa, sob o ponto de vista estatístico. Verifica-se um aumento de mais de 25% na amplitude de movimento do tronco no plano sagital, usando feixes flexíveis no mecanismo passivo do equipamento. A percepção dos utilizadores quanto à amplitude de movimentos apresenta resultados muito bons e quanto interferência do uso do exoesqueleto com a realização das tarefas, a redução de carga lombar, o suporte conferido durante as tarefas, bem como a avaliação geral do exoesqueleto apresenta valores bons a moderados. Com relação aos níveis de desconforto, os utilizadores avaliaram como tendo baixo desconforto associado ao uso do equipamento. Em termos de limitações do mesmo, foi mencionada alguma dificuldade a caminhar com o exoesqueleto, fricção lateral no pescoço e alguma pressão nos quadris.

As conclusões das pesquisas supramencionadas, apontam, aparentemente, para potencialidades positivas da utilização dos exoesqueletos em contexto ocupacional. A maioria dos estudos anteriores concentrou-se principalmente em avaliações musculares locais, levando a uma série de lacunas no conhecimento, principalmente no que diz respeito às respostas fisiológicas gerais ao uso do exoesqueleto. Sabe-se que uma diminuição da atividade muscular local não é suficiente para eliminar o risco musculoesquelético nas costas (de Looze *et al.*, 2016). Posto isto, a utilização de exoesqueletos em ambiente industrial ainda tem um longo caminho a percorrer. De facto, dos estudos apresentados, todos eles foram realizados em laboratório com exceção do PLAD no estudo de Graham *et al.* (2009). Existem vários aspetos que precisam de ser solucionados antes da sua aplicação generalizada na indústria, como é o caso do desconforto para o utilizador (Abdoli-E *et al.*, 2006; Bosch *et al.*, 2016).

Para se poder tirar partido da utilização plena dos exoesqueletos parece ser necessária uma melhor investigação relativa ao design destes com o intuito de melhorar a sua usabilidade, especialmente no que diz respeito ao conforto e à liberdade de movimentos durante o uso. Possivelmente, estas melhorias podem ser alcançadas através da diminuição do peso do exoesqueleto, de uma melhor distribuição do peso e simplificando a instalação e a desinstalação do dispositivo (de Looze et al., 2016).

A limitação do desconforto é um desafio na implementação destes equipamentos em contexto industrial, uma vez que, poderá ser um grande problema para a sua ampla aplicação em tarefas industriais. Isto porque um nível mínimo de desconforto pode dificultar a aceitação do utilizador. Por isso, é fulcral apostar na obtenção de dados experimentais, não só em laboratório, como em contextos industriais, de maneira a que seja possível conferir padrões de segurança e que as várias limitações técnicas, identificadas em estudos prévios, sejam ultrapassadas.

Os resultados obtidos pelos estudos mencionados nesta revisão encontram-se sumariados na Tabela 3, evidenciando-se os exoesqueletos utilizados, posturas/movimentos avaliados, contexto do estudo, opções metodológicas e principais resultados.

**Tabela 3:** Resumo das principais características de estudos revistos sobre exoesqueletos de suporte lombar (apresentados por tipo de exoesqueleto usado).

<b>Autores (data)</b>	<b>Exoesqueleto usado</b>	<b>Amostra</b>	<b>Posturas/movimentos avaliados</b>	<b>Contexto do estudo</b>	<b>Metodologia</b>	<b>Principais conclusões</b>
<b>Näf et al. (2018)</b>	<i>Passive Spexor prototype</i>	3 ♂	Flexão e/ou rotação do tronco	Laboratório	Questionário de impressão do utilizador; Escala visual analógica da dor.	Aumento de mais de 25% da amplitude de movimento do tronco no plano sagital usando feixes flexíveis no mecanismo passivo do equipamento. Classificação de “Muito boa” amplitude de movimentos. A interferência com as tarefas, a redução da carga lombar, o suporte conferido durante a realização das tarefas e a avaliação geral do exoesqueleto apresentam valores “bons” a “moderados”. OS níveis de desconforto são considerados baixos.
<b>Koopman et al. (2019)</b>	<i>Laevo</i>	11 ♂	Flexão do tronco	Laboratório	Eletromiografia de superfície.	Diminuição da atividade muscular dos músculos das costas entre 11% a 57%, dependendo do ângulo de flexão. Aumento de 2% a 6% da atividade muscular dos músculos do abdômen.
<b>Bosch et al. (2016)</b>		9 ♂ 9 ♀	Flexão do tronco	Laboratório	Eletromiografia de superfície; Escala de Borg.	Redução em 30-35% a atividade muscular das costas em tarefas de inclinação do tronco. Sem efeitos para os grupos musculares do abdominal. Aumento do tempo de resistência de realização da tarefa de 3,2 min para 9,7 min. Diminuição do desconforto na zona lombar e aumento do desconforto no peito e nas axilas.

<b>Whitfield <i>et al.</i> (2014)</b>	<i>PLAD</i>	15 ♂	Flexão e extensão do tronco	Laboratório	Medição do consumo de oxigénio; Eletromiografia de superfície.	Não existem diferenças no consumo de oxigénio nas condições com e sem exoesqueleto. Diminuição de 8,4% da atividade muscular dos músculos eretores da coluna em tarefas de abaixar a carga.. Diminuição da atividade muscular do bíceps femoral em tarefas de elevar a carga.
<b>Graham <i>et al.</i> (2009)</b>		8 ♂ 2 ♀	Flexão do tronco	Indústria	Eletromiografia de superfície; Questionário de utilização do equipamento.	Diminuição, significativa, da atividade muscular dos músculos da zona inferior da coluna, sem alteração da atividade muscular dos músculos abdominais. Aceitação positiva do exoesqueleto por parte dos participantes.
<b>Abdoli-E <i>et al.</i> (2006)</b>		9 ♂	Flexão do tronco	Laboratório	Eletromiografia de superfície.	Diminuição da atividade muscular de 14,4% nos músculos eretores da coluna lombar, e de 27,6% nos músculos eretores da coluna torácica.
<b>Ulrey &amp; Fathallah (2011)</b>	<i>BNDR</i>	11 ♂ 7 ♀	Flexão do tronco	Laboratório	Eletromiografia de superfície.	Sem alteração significativa da atividade muscular do eretor da coluna lombar e torácica, do reto abdominal ou do tibial anterior entre o dispositivo e as condições sem dispositivo. Redução da atividade muscular em 17% do bíceps femoral.

<b>Barret &amp; Fathallah (2001) citado por de Looze et al., (2016)</b>	<i>Happyback</i>	4 ♂	Flexão de tronco	laboratório	Eletromiografia de superfície.	Diminuição da atividade muscular dos músculos eretores da coluna da zona lombar de 23% com a utilização do Happyback e de 21% com a utilização do Bendezy. Aumento da atividade muscular da perna com ambos os exoesqueletos.
	<i>Bendezy</i>	5 ♀				

## 2.4 Avaliação da sobrecarga musculoesquelética durante tarefas industriais com utilização de um exoesqueleto de suporte lombar

A avaliação da sobrecarga musculoesquelética pode ser realizada utilizando diferentes métodos e técnicas. Especificamente, para a avaliação em tarefas de flexão de tronco utilizando um exoesqueleto de apoio para a zona lombar, tem-se utilizado a eletromiografia, a aplicação de testes psicofísicos e em alguns casos a análise cinemática (de Looze et al., 2016). Neste subcapítulo, pretende-se abordar as técnicas mais utilizadas em estudos prévios neste domínio, orientando as opções metodológicas da presente dissertação.

### 2.4.1 Avaliação através de dados psicofísicos

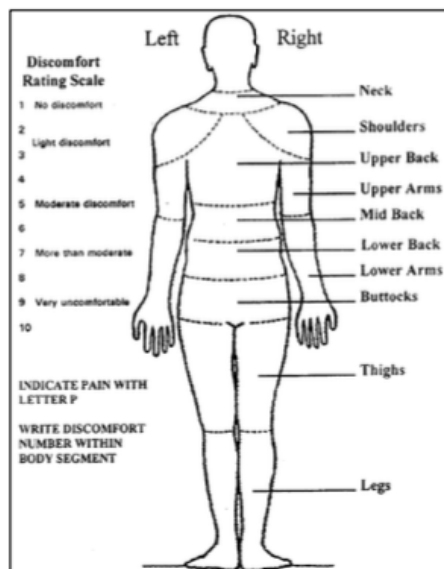
As informações obtidas através do meio externo envolvente e sobre as perturbações corporais ou ambientais provêm da percepção sensorial da pessoa. Assim, os dados que lidam com esta problemática definem-se como dados psicofísicos (Borg, 1990). Estes, têm como objetivo estabelecer uma relação entre os estímulos físicos e as sensações pessoais resultantes destes (Ayoub & Dempsey, 1999). Esta abordagem tem sido utilizada em estudos de investigação centrados na utilização de exoesqueletos ocupacionais, com o intuito de conhecer a percepção dos utilizadores à utilização deste tipo de equipamentos em tarefas manuais.

Por exemplo, Bosch *et al.* (2016) utilizou a Local Perceived Discomfort Scale (LPD) (Figura 10). Esta escala é composta por um mapa corporal segmentado nas várias regiões do corpo. O intuito era que os utilizadores do exoesqueleto Laevo reportassem o desconforto sentido nas costas, pernas e peito. Para tal, foi-lhes solicitado que classificassem o seu desconforto nas regiões identificadas com uma pontuação que variava entre 0 (que significa “sem qualquer desconforto”) e 10 (que significa “extremamente desconfortável”).

Neste âmbito, num estudo realizado por Graham et al., (2009) foi aplicado um questionário com o intuito de avaliar a aceitabilidade dos operários ao exoesqueleto PLAD. Esse questionário envolveu a *Borg Ratings of perceived exertion -20 scale* (RPE-20) (Figura 11), questões sobre pontos de pressão / desconforto e restrição de amplitude de movimento, bem como questões do tipo “Consegue sentir a assistência fornecida pelo PLAD? Em caso afirmativo, onde e quanto?”. Também foram aplicadas questões no sentido de avaliar se o exoesqueleto afetava o esforço muscular das costas, o esforço muscular das pernas e o



conforto dos ombros. Essas questões eram de resposta fechada, numa escala que variava de 1 (“pouco”) até 5 (“excelente”). Adicionalmente, também era perguntado se os utilizadores queriam mais ou menos assistência do dispositivo, bem como se seria confortável usá-lo todos os dias no seu posto de trabalho.



**Figura 10:** Diagrama corporal usado para avaliar segundo a escala “Local Perceived Discomfort” (reproduzido de Kumar, Narayan, & Bjornsdottir, 1999 )

Borg's RPE scale	
6	No exertion at all
7	Extremely light
8	Very light
9	Light
10	Somewhat hard
11	Hard
12	Very hard
13	Extremely hard
14	Maximal exertion
15	
16	
17	
18	
19	
20	

**Figura 11:** Escala psicofísica RPE-20 (Borg, 1990)

Num outro trabalho, desenvolvido por Näf *et al.* (2018), a percepção do utilizador relativamente ao protótipo de exoesqueleto foi também avaliada através de dados psicofísicos. Nomeadamente através de um questionário da impressão do utilizador. Este instrumento de avaliação foi dividido em cinco partes: avaliação da amplitude de movimento, eficácia, impressão geral do protótipo, dificuldade percebida da tarefa e desconforto. Cada um destes parâmetros era avaliado através de uma escala fechada variável de 0 a 10

pontos. Neste estudo, todas as classificações pedidas aos participantes que variavam entre 0 e 10, foram avaliadas através da *Visual-Analog Scale* (VAS). Esta escala permite distinguir com maior precisão a opinião dos inquiridos em comparação à escala numérica.

Destaca-se ainda a relevância das três escalas mencionadas nos estudos supracitados. Apesar dos estudos apresentados serem exclusivamente relacionados com a avaliação da utilização de exoesqueletos em tarefas manuais, também outros estudos centrados em tarefas de manipulação de cargas têm amplamente utilizado estas escalas na avaliação subjetiva das dificuldades percebidas, da fadiga e da sensação desconforto (Colim, Arezes, Flores, & Braga, 2019).

A utilização de dados psicofísicos, no sentido de tornar mensurável aspetos subjetivos do *stress* físico é de tamanha importância. Primeiro, porque os órgãos sensoriais e as percepções conscientes revelam importantes perturbações no ambiente. Dessa maneira é possível obter informações importantes sobre as perturbações que não são tão fáceis de medir fisicamente ou por reações fisiológicas. Segundo, as percepções individuais relevam perturbações dentro de uma pessoa através de sintomas subjetivos que se referem a sinais precoces de doenças (Borg, 1990).

#### 2.4.2 Avaliação através de métodos observacionais

As posturas, gestos ou movimentos de trabalho são avaliados com recurso a diferentes métodos, designados por métodos observacionais. Neste âmbito, as avaliações são realizadas junto dos trabalhadores, nos seus locais de trabalho e através da análise de registos de vídeo, identificando os segmentos anatómicos em causa e categorizando os ângulos entre esses segmentos (David, 2005). Este tipo de técnicas permite avaliar a existência de fatores de risco de ocorrência de LMERT de uma forma rápida e expedita. Para além disso, são métodos ergonómicos holísticos que não necessitam da utilização de equipamentos especiais para a sua aplicação. São vários os métodos do tipo observacional disponíveis, a título de exemplo referem-se os seguintes:

1. o Strain Index (SI), que permite inferir acerca do risco de ocorrência de lesão ocupacional por hiper-utilização dos membros superiores. É um método limitado, na medida em que só se aplica a partes distais do membro superior, não sendo por isso aplicável na prevenção de lesões de outras partes do corpo (Moore & Garg, 1995);

2. o *Rapid upper limb assessment* (RULA), que se baseia na identificação dos principais fatores de risco que reconhecidamente contribuem para o aparecimento de lesões dos membros superiores. A ação simultânea de vários fatores (incluindo o peso das cargas manipuladas, por exemplo) poderá ter efeitos cumulativos e cada fator adicional contribuirá para o aumento do risco global (McAtamney & Nigel Corlett, 1993);
3. e o REBA, que permite avaliar não só a atividade postural como fator de risco, como também posturas dinâmicas, ou com rápida mudança e instáveis (Hignett & McAtamney, 2000).

Quando se trata de avaliar a sobrecarga musculoesquelética durante tarefas com variação postural envolvendo o corpo todo e perante a especificidade de cada método, o mais abrangente parece ser o método REBA. A aplicação prática desta técnica tem por principais objetivos a obtenção de uma análise postural sensível aos fatores de risco de lesões musculoesqueléticas registados numa variedade de atividades.

Esta técnica contempla a divisão do corpo humano em diferentes segmentos que aparecem codificados de forma individual. Esses segmentos são designadamente o tronco, o pescoço, as pernas, os braços, os antebraços e os pulsos. Cada um deles é analisado individualmente, sendo-lhes atribuída uma pontuação que traduz o respetivo desvio em relação à posição/postura neutra. Para além desta condição, a técnica também considera o efeito, no nível de risco global, dos seguintes fatores: existência de posturas estáticas, existência de repetitividade de movimentos, necessidade de aplicação de força, necessidade de alternância rápida de posturas e instabilidade postural. Adicionalmente, também é tido em consideração a forma como são pegados os objetos. O resultado final da aplicação do método REBA é uma pontuação, a qual pode ser aplicada como indicadora do nível de risco de LMERT (Hignett & McAtamney, 2000).

A utilização deste método ergonómico na avaliação da sobrecarga musculoesquelética não tem sido utilizada na validação do uso de exoesqueletos de suporte lombar em contexto ocupacional. Na opinião de Dahmen & Hefferle (2018) os estudos realizados no âmbito da validação deste tipo de equipamentos tem-se debruçado maioritariamente no impacto sobre os grupos musculares que se destinam a ser apoiados pelos exoesqueletos. Os mesmos autores, ainda realçam a necessidade de realizar investigações que estimem os efeitos da integração de um exoesqueleto na avaliação ergonómica de risco de um local de trabalho.

Com isto em mente, realizaram uma seleção de métodos e técnicas de ergonomia aplicáveis à validação de exoesqueletos a um determinado posto de trabalho. O trabalho por eles desenvolvido, envolvia um exoesqueleto desenhado para o suportar os membros superiores. Nesta ótica não é possível utilizar as suas conclusões para validar o método REBA como um método eficaz para utilizar na validação de exoesqueletos desenvolvidos para o apoio lombar. Mas, ainda assim, é possível extrapolar a metodologia utilizada pelos autores supracitados. Isto é, com o intuito de verificar a elegibilidade de um exoesqueleto, Dahmen & Hefferle (2018) compararam os resultados obtidos através de diferentes métodos ergonômicos, tais como: “*Ergonomic Assessment Worksheet*” , “*Key Indicator Method*” , REBA e RULA. . Os referidos autores verificaram uma diminuição da pontuação final calculada nos diferentes métodos na condição com o exoesqueleto, comparativamente à condição sem exoesqueleto, o que constitui um indicador positivo a favor da implementação de exoesqueletos em ambiente industrial.

#### 2.4.3 Avaliação através de EMG

Uma técnica de medição direta do risco de LMERT é a eletromiografia (EMG) (David, 2005). Esta baseia-se no estudo do sinal bioelétrico que é emitido durante as contrações dos músculos. Esta técnica possibilita a determinação de parâmetros biomecânicos internos do corpo humano aquando a realização de tarefas de índole dinâmica. A EMG é comumente utilizada para determinar: (1) o tempo de ativação dos músculos (possibilitando conhecer o início e o fim do momento de ativação muscular); (2) a amplitude da atividade muscular; e (3) o índice de fadiga muscular (De Luca, 1997).

Esta técnica tem sido amplamente utilizada em estudos centrados na validação da utilização de exoesqueletos ocupacionais como medida preventiva de risco de LMERT (Karatayev, Burlakova, Miller, & Perrelli, 2018). Diversos estudos têm recorrido à EMG para comparar as sobrecargas impostas à coluna vertebral e à musculatura dos membros e do tronco em tarefas de manipulação de cargas durante utilização de exoesqueletos comparativamente a tarefas análogas sem recorrer a este tipo de equipamentos (Bosch et al., 2016; de Looze et al., 2016; Graham et al., 2009; Koopman et al., 2019; Moyon et al., 2018). Neste âmbito, é considerada a premissa de que determinados níveis de atividade muscular estão relacionados com a força

compressiva exercida sobre a coluna e, conseqüentemente, com o risco de LMERT (Colim, 2017).

Bosch *et al.* (2016), avaliou, bilateralmente, através de eletromiografia os músculos: trapézio inferior, longuíssimo eretor da coluna, iliocostal eretor da coluna, abdominal oblíquo, abdominal reto, bíceps femoral. O elétrodo de referência foi colocado no processo espinhoso C7. A normalização das amplitudes EMG foram realizadas através do registo, durante três segundos, das contrações máximas voluntárias (CMV) de cada um dos músculos em estudo. No estudo de Koopman *et al.*, (2019), onde foi utilizado o mesmo exoesqueleto (Laevo), avaliaram-se os mesmos músculos com exceção trapézio inferior.

Na avaliação da atividade muscular em estudos com o exoesqueleto *PLAD* (Abdoli-E *et al.*, 2006; Graham *et al.*, 2009; Whitfield *et al.*, 2014) a avaliação do eretor da coluna da zona torácica, do eretor da coluna da zona lombar e do reto abdominal é comum. No estudo de Abdoli-E *et al.* (2006) é ainda avaliado o abdominal oblíquo e no estudo de Whitfield *et al.* (2014) é avaliado o bíceps femoral, o reto femoral e o glúteo máximo. É ainda importante referir que o número reduzido de músculos avaliados por Graham *et al.* (2009) é justificado pelo facto do estudo ter sido desenvolvido em contexto real, ao contrário de todos os outros que foram realizados em laboratório.

Na avaliação do *BNDR*, no estudo desenvolvido por Ulrey & Fathallah (2011), os músculos avaliados foram os eretores da coluna na zona torácica e lombar, o bíceps femoral e o tibial anterior.

Nos estudos mencionados, verificou-se que em todos eles se pretendeu avaliar a atividade muscular dos músculos eretores da coluna. A preocupação na escolha destes músculos deve-se ao facto de que o exoesqueleto que se pretendia avaliar ter sido concebido para fornecer suporte às costas. Adicionalmente, em alguns estudos pretendeu-se ainda avaliar a atividade muscular dos músculos abdominais e dos membros inferiores. A escolha destes dois grupos de músculos prendeu-se com o facto de se tentar perceber se existiam efeitos negativos na atividade muscular de outros músculos que não aqueles para o qual o exoesqueleto foi desenvolvido.

### **3. METODOLOGIA DE INVESTIGAÇÃO**

#### **3.1 Contextualização do capítulo**

Neste capítulo apresentam-se a metodologia seguida durante a realização deste trabalho. Desta forma, apresentam-se de seguida a natureza do estudo, a metodologia de revisão da literatura, e a metodologia empregue na realização dos testes desenvolvidos para responder à pergunta de investigação. Neste último ponto, apresenta-se a seleção da amostra e os métodos e técnicas utilizados.

#### **3.2 Natureza do estudo**

A metodologia numa investigação científica constitui o conjunto de procedimentos intelectuais e técnicos usados pelo investigador para atingir os seus objetivos. A metodologia adotada numa investigação transparece a visão do investigador sobre o mundo, através de pressupostos filosóficos e paradigmáticos por ele selecionados e que estarão na base do novo conhecimento construído (Saunders, Lewis, & Thornhill, 2012). Partindo do modelo de investigação proposto por Saunders *et al.* (2012), apresentam-se de seguida os seguintes parâmetros: abordagem, estratégia, método de recolha e análise de dados, horizonte de tempo, técnicas e procedimentos.

Uma investigação pode seguir duas abordagens: a dedutiva e a indutiva (Saunders et al., 2012). Este estudo apresenta uma abordagem dedutiva. Neste tipo de abordagem, o investigador formula hipóteses e estabelece uma estratégia de investigação com o intuito de testar e validar essas hipóteses.

Quanto à estratégia, importa primeiramente definir a finalidade do estudo. Esta pode ter finalidade exploratória, descritiva ou explicativa (Saunders et al., 2012). Este estudo apresenta uma finalidade exploratória, uma vez que tem como finalidade descobrir o que está a acontecer, procurar novas perspetivas, questionar o entendimento existente, procurar avaliar os fenómenos de um ponto de vista diferente (Saunders et al., 2012). Isto é, pretende-se conhecer qual a influência da utilização de um exoesqueleto passivo nos fatores de risco de LMERT durante tarefas industriais. Para atingir esta finalidade, utilizou-se uma das estratégias sugeridas por Saunders *et al.* (2012), o estudo de caso. Esta estratégia permite o

conhecimento detalhado acerca de um caso, sendo particularmente útil para responder ao “porquê”, ao “quê” e/ou ao “como”.

Relativamente aos métodos, neste estudo utilizou-se um método misto, que combina diferentes técnicas quantitativas (com a obtenção de dados numéricos) e qualitativas (recolha de informação não numérica), tornando-se enriquecedor, na medida em que permite obter mais evidências de forma a responder às questões de investigação. Quanto ao horizonte de tempo em investigação científica, Saunders *et al.* (2012) define duas categorias: longitudinal e transversal. Neste estudo, o horizonte de tempo é considerado transversal, uma vez que permite o estudo de um determinado fenómeno num determinado momento.

Por fim, importa igualmente caracterizar as técnicas e procedimentos de recolha de dados. Quanto às técnicas de amostragem, neste estudo utilizou-se uma técnica de amostragem não probabilística, uma vez que a escolha foi feita com base num julgamento subjetivo (Saunders *et al.*, 2012). Especificamente a amostragem utilizada neste estudo, é considerada intencional, uma vez que se selecionaram casos que permitirão responder de melhor forma às perguntas de investigação. Isto é, selecionou-se intencionalmente indivíduos que se encontrassem afetados ao processo produtivo numa indústria de fabricação de mobiliário, em que as suas tarefas incluíssem a flexão frontal de tronco. Relativamente aos procedimentos de amostragem utilizou-se observação sistemática, gravação, análise, medição direta, descrição e interpretação do comportamento das pessoas.

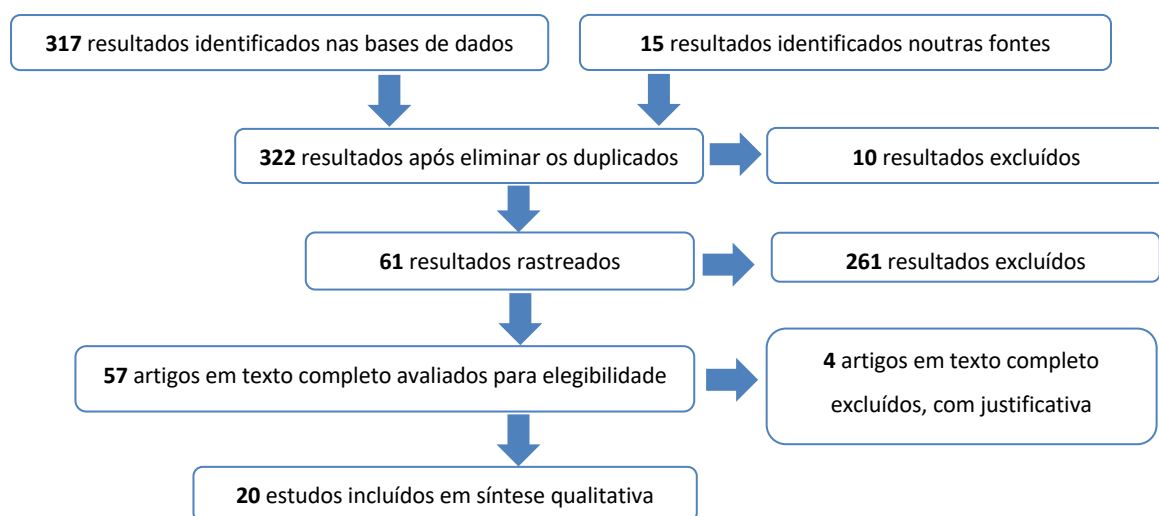
Face o exposto, resumidamente, a presente investigação trata-se de um estudo de caso transversal, de índole exploratória, tendo por base a definição preparatória das questões orientadoras da investigação, seguida da observação da realidade do problema em contexto real de trabalho e recolha e análise de dados qualitativos e quantitativos.

### **3.3 Fase metodológica da revisão bibliográfica**

De maneira a auxiliar o ponto de partida deste trabalho de investigação, realizou-se uma revisão sistemática da literatura, que sendo replicável permite também criar uma base de trabalho para futuros estudos. Esta revisão, suportada pela metodologia PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*) (Moher, Liberati, Tetzlaff, & Altman, 2009), utilizou três das principais bases de dados bibliográficas: *Scopus* (Elsevier, n.d.-b) *Science Direct* (Elsevier, n.d.-a) e *PubMed* (National Center for Biotechnology Information,

n.d.). Foi obtido um total de 317 artigos científicos, após a procura com as palavras-chave “*exoskeleton*” e “*musculoskeletal disorders*”, com o operador booleano “AND”. A base de dados do investigador foi também considerada nesta revisão bibliográfica.

Como condição de inclusão, os artigos selecionados tinham de ser de acesso livre, escritos em inglês ou português e terem sido publicados entre 2013 e 2019. Após a aplicação destes critérios, e da eliminação de artigos repetidos, obteve-se um total de 57 artigos científicos. Seguidamente, selecionaram-se apenas artigos que apresentassem uma avaliação de exoesqueletos em contexto ocupacional. Para o efeito, o rastreamento foi feito através dos títulos e dos resumos destes. Quando os resumos não apresentassem informação suficiente para decidir, procedia-se a uma leitura integral do artigo. Após esta fase, obtiveram-se 20 artigos em texto completo avaliado para elegibilidade, sendo estes incluídos em síntese qualitativa. Os estudos incluídos são referentes aos trabalhos de Abdoli-E et al., (2006), Alabdulkarim et al., (2019), Bosch et al., (2016), de Looze et al., (2016), Diez-olivan et al., (2018), Graham et al., (2009), Huysamen et al., (2018), Kim et al. (2018), Koopman et al., (2019), Lee et al., (2012), Lowe et al., (2019), Moyon et al., (2018), Näf et al., (2018), Schnieders & Stone, (2017), Spada et al., (2017), Theurel & Desbrosses, (2019), Ulrey & Fathallah, (2011), Whitfield et al., (2014), Zhang & Huang, (2018) e Zhou & Li, (2016). Esta pesquisa tornou-se relevante no sentido que a procura resultou em bibliografia de destacada importância para a definição das variáveis de estudo e na posterior comparação dos resultados obtidos. O fluxograma das diferentes fases da revisão sistemática, conduzida neste trabalho segundo recomendação do PRISMA, encontram-se representadas na Figura 12.



**Figura 12:** Fluxograma das diferentes fases da revisão sistemática proposta pelo PRISMA (adaptado de Moher et al., 2009).



Adicionalmente à revisão sistemática da literatura, a revisão bibliográfica foi alargada a outras fontes como por exemplo dissertações e teses académicas, artigos partilhados por pares e livros, por forma a clarificar e contextualizar alguns conceitos relacionados com as LMERT e para justificar algumas opções metodológicas.

### **3.4 Fase metodológica técnico-experimental**

#### **3.4.1 Introdução**

O presente trabalho foi desenvolvido, em contexto real, numa empresa de fabricação de mobiliário, pertencente ao distrito do Porto, em Portugal. O intuito deste estudo prende-se com a avaliação da influência do exoesqueleto Laevo® (descrito em 3.3.2 da presente dissertação) nos fatores de risco de LMERT em tarefas industriais que incluíssem a flexão frontal do tronco, e especificamente se existem reduções na sobrecarga musculoesquelética dos músculos dorsais com a sua utilização comparativamente a uma situação onde o equipamento não é utilizado. Com esse intuito, realizaram-se três estudos experimentais, em contexto industrial, com a aplicação de diferentes técnicas de avaliação da sobrecarga musculoesquelética, nomeadamente: (1) a avaliação psicofísica (cuja metodologia é explorada em 3.5); (2) a avaliação postural (em 3.6); (3) a EMG (em 3.7). Para cada estudo foi usada uma amostra composta por colaboradores da empresa de fabricação de mobiliário em estudo.

#### **3.4.2 Caracterização da empresa**

A empresa possuiu 34 fábricas em 9 países espalhados pelo mundo, possuindo um total de 20 000 trabalhadores. Esta dedica-se à produção de mobiliário de dois tipos: madeira maciça e madeira leve. Este trabalho foi realizado numa das unidades produtivas da empresa, pertencente ao distrito do Porto, em Portugal, com cerca de 1450 trabalhadores, que se dedica à produção de mobiliário plano. Esta unidade é uma das cinco fábricas com maior produção de mobiliário no grupo da empresa.

#### **3.4.3 Exoesqueleto utilizado no estudo**

Neste estudo, foi utilizado um exoesqueleto passivo da marca Laevo®, como o apresentado na Figura 13. Este destina-se a fornecer suporte às costas em tarefas de flexão repetitiva do tronco e/ou tarefas estáticas numa postura inclinada para a frente. Especificamente, segundo o fabricante (Laevo, n.d.), este pode ser utilizado em tarefas que requerem os seguintes

movimentos ou posturas: (1) trabalhar inclinado para a frente; (2) levantar pesos; (3) dobrar-se em direção ao chão; (4) Ajoelhar-se e agachar-se; e (5) caminhar. O Fabricante também desaconselha o uso do equipamento nas tarefas que requerem os seguintes movimentos ou posturas: (1) subir e descer escadas; (2) correr; (3) escalar; e (4) sentar.



**Figura 13:** O exoesqueleto passivo utilizado neste estudo, com a respetiva legenda dos seus constituintes (Laevo, n.d.).

Este exoesqueleto possuiu quatro estruturas de suporte: duas almofadas no peito, uma estrutura nas costas, um cinto almofadado em torno da anca e duas estruturas na parte superior das pernas. Estes encontram-se conectados através de um tubo circular com características semelhantes a molas. Este tubo é disponibilizado em diversos tamanhos com cores diferentes, representativas das classes de alturas em correspondência com a altura dos utilizadores. Assim, a altura dos utilizadores pode variar entre inferior a 1,55m e superior a 1,96m. A classe de altura e a respetiva cor do tubo, encontram-se apresentadas na Tabela 4. Quanto ao peso do equipamento, este tem um peso 2,8kg (Laevo, n.d.).

O exoesqueleto destina-se a transferir as forças da região lombar para os amortecedores existentes no peito e coxas (Bosch et al., 2016). Segundo o fabricante (Laevo, n.d.), o equipamento é capaz de aliviar o peso relativo do tronco e reduzir a carga na zona lombar.

**Tabela 4:** Representação das vários tubos de suporte distribuídos por tamanho, altura do utilizador e respetiva cor (Laevo, n.d.).

Tamanho	Altura do utilizador	Cor do tubo
XXS	< 1,55 m	preto
XS	1,56 m – 1,63 m	Roxo
S	1,64 m – 1,71 m	Amarelo
M	1,72 m – 1,79 m	Cor-de-laranja
L	1,80 m – 1,87 m	Azul
XL	1,88m – 1,95 m	Verde
XXL	>1,96 m	Castanho

#### 3.4.4 Técnica de amostragem e tarefas testadas

Após a definição dos objetivos desta fase do estudo, recorreu-se à técnica de amostragem do tipo não probabilístico intencional, uma vez que foram selecionados indivíduos, intencionalmente, que se encontrassem afetos a postos de trabalhos, ou que estivessem familiarizados com os mesmos, cujas suas tarefas envolvessem a frequente flexão frontal do tronco. Esta amostra é constituída tanto por operários dos postos de trabalho em questão, como por formadores (pessoas responsáveis por formar colaboradores novos para a realização das tarefas ou formar os colaboradores existentes aquando de alterações do processo de realização da tarefa). Portanto, todos os participantes encontravam-se familiarizados com as tarefas testadas e todos eles trabalhavam na empresa em estudo. Um outro critério aplicado nesta amostragem foi o facto de os participantes não terem historial de problemas musculoesqueléticos. Como demonstrado no capítulo da revisão bibliográfica, este setor de atividade encontra-se sujeito à realização de tarefas suscetíveis de causarem LMERT. E daí a pertinência do estudo, em avaliar a aplicabilidade de utilização do exoesqueleto passivo em tarefas industriais de uma indústria de mobiliário.

Numa primeira fase, foi realizada uma reunião com os responsáveis da empresa para dar a conhecer o exoesqueleto utilizado, bem como, perceber qual o intuito da empresa com a realização deste estudo. Assim, entendeu-se que era pretendido avaliar a adequabilidade do equipamento aos postos de trabalho da empresa. Para cumprir este objetivo, era necessário

obter dados que validassem ou não a utilização do exoesqueleto em determinadas tarefas dos postos de trabalho da empresa.

Posto isto, em conjunto com os responsáveis da empresa, foram seleccionados postos de trabalho onde existisse interesse por parte da empresa em implementar a utilização do exoesqueleto Laevo ® em concordância com o facto de esses postos exigirem a flexão frontal do tronco.

Terminada esta fase, foram então seleccionadas três tarefas industriais, afetas a três postos de trabalho distintos. Todas as tarefas envolviam a flexão frontal do tronco. De forma a identificar as três tarefas manuais, as mesmas passam a designar-se da seguinte forma: (1) tarefa de paletização; (2) tarefa de ajustamento de ripas de madeira; (3) tarefa de inspeção visual das peças.

Relativamente à tarefa de paletização, esta consistia em manipular verticalmente peças (peso entre 2 e 4 kg) vindas de um tapete transportador a cerca de 30cm do chão para uma palete que se encontrava em cima de um *stacker* que permitia regular a altura da palete. Para pegar nas peças que se encontravam no tapete transportador, o colaborador fletia frontalmente e inclinava lateralmente o tronco com posterior elevação da peça do tapete transportador para a palete. Por vezes essa manipulação era realizada apenas com uma mão. Em alguns momentos o colaborador também tinha de andar para resolução de problemas na máquina que dispensa as peças para posterior paletização, ou para movimentar o *stacker* com a palete preenchida (Figura 14).



**Figura 14:** Tarefa 1: tarefa de paletização.

Quanto à tarefa de ajustamento de ripas de madeira, esta consistia em ajustar as ripas de madeira vindas de uma *cutting machine*, puxando as ripas de forma a que o final destas coincidissem com o limite da paleta (que se encontrava em cima de um elevador de cargas, acionado por um pedal). Durante a realização deste ajuste, o colaborador fletia o tronco para conseguir pegar as mesmas a dois terços do seu comprimento. No fim da paleta se encontrar preenchida, esta era movida com recurso a um porta-paletes e colocada uma nova paleta no seu lugar. Em alguns momentos também existia a necessidade de caminhar para resolução de problemas na *cutting machine*, ou nas máquinas anteriores a esta (Figura 15).

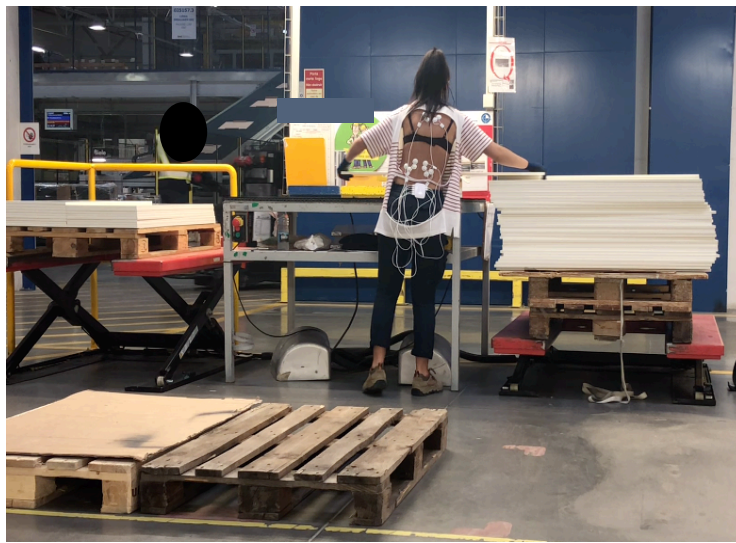


**Figura 15:** Tarefa 2: tarefa de ajustamento de ripas de madeira.

Por fim, a tarefa de inspeção visual das peças, consistia na inspeção de peças de produto final (tábuas de madeira pintadas), com um peso de 3,9 kg. Para a realização da inspeção, os trabalhadores arrastavam peça que se encontrava à direita destes em cima de uma paleta posicionada em cima de um elevador automático de cargas (acionado por um botão) para uma mesa de inspeção. Nesta etapa inicial de arrastar a peça existia, por vezes, a flexão frontal do tronco. Muitas vezes os colaboradores pegavam na peça apenas com uma mão. De seguida, já na mesa de inspeção, os colaboradores faziam a inspeção visual à peça. Durante esta etapa, verificavam-se os seguintes movimentos corporais: flexão frontal e inclinação lateral do tronco e pescoço, abdução dos braços e ligeira flexão das pernas. Feita a inspeção, os colaboradores pegavam na peça e colocavam-na numa paleta que se encontrava à esquerda destes em cima de um elevador de cargas (acionado por um botão). Como a peça já se encontrava inspecionada, a colocação da mesma na paleta era mais cuidada, verificando-

se uma maior flexão do tronco nesta fase. Assim, a tarefa testada pode ser dividida em 3 elementos (parte distinta de uma tarefa, compreendendo um movimento fundamental do executante):

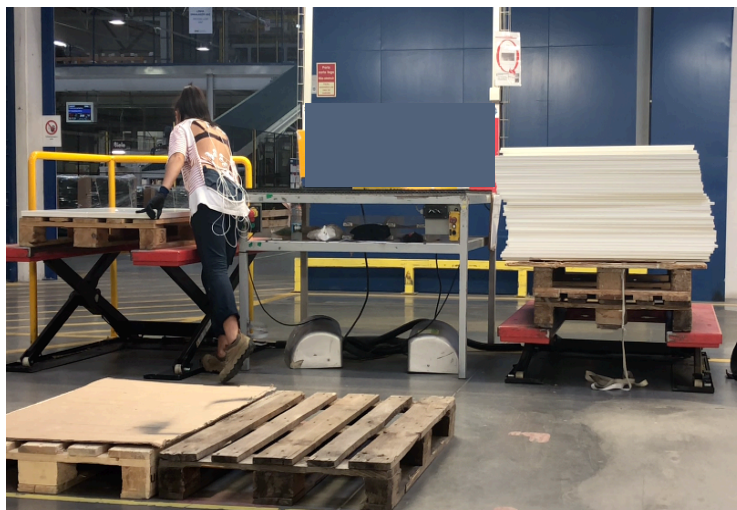
1. Elemento 1: Arrastar (da direita para esquerda) a peça da paleta para a mesa de inspeção (Figura 16);
2. Elemento 2: Inspecionar a peça na mesa de inspeção (Figura 17);
3. Elemento 3: Manipulação da peça (da direita para a esquerda) da mesa de inspeção para a paleta (Figura 18).



**Figura 16:** Elemento 1 da Tarefa 3 de inspeção visual de peças: arrastamento da peça para a mesa de inspeção.



**Figura 17:** Elemento 2 da Tarefa 3 de inspeção visual de peças: inspeção visual da peça.



**Figura 18:** Elemento 3 da Tarefa 3 de inspeção visual de peças: manipulação da peça para a paleta.

Importa esclarecer que cada teste foi constituído por amostras distintas. Para as Tarefas 1 e 2, incluíram-se apenas trabalhadores dos referidos postos de trabalho. A Tarefa 3, incluía tanto operários como formadores. A opção de incluir também formadores nesta amostra prende-se com o facto de esta ser uma tarefa mais complexa, dividida em diferentes elementos, apresentando uma maior variabilidade de movimentos/posturas críticas. Tanto no estudo psicofísico como na avaliação postural avaliaram-se as três tarefas em separado. No estudo eletromiográfico avaliou-se apenas a Tarefa 3 pois, como já foi referido, esta apresentava uma maior diversidade postural. Por outro lado, não foi possível realizar testes eletromiográficos nos locais de realização das restantes tarefas consideradas, pois estes eram locais demasiado quentes, o que aumentava o suor da pele, impedindo a fixação dos elétrodos.

No início de cada teste os participantes leram e assinaram o termo de consentimento livre e esclarecido (Anexo I).

### **3.5 Estudo psicofísico**

Como evidenciado na revisão bibliográfica da presente dissertação (em 2.4.1), o recurso a dados psicofísicos tem sido utilizado em estudos de investigação centrados na avaliação da sobrecarga física inerente à utilização de exoesqueletos ocupacionais. Neste âmbito, foi criado um questionário com a finalidade de avaliar a percepção da amostra relativamente à sua experiência com utilização do exoesqueleto Laevo®.



### 3.5.1 Desenvolvimento e aplicação do questionário

O questionário desenvolvido é constituído por seis etapas distintas, com objetivos de avaliação diferentes. As etapas e respetivas descrições encontram-se evidenciados na Tabela 5. No desenvolvimento do questionário, utilizou-se por base o questionário fornecido pelo fabricante do exoesqueleto Laevo® com a adição de perguntas pertinentes, pelo investigador, resultado da revisão bibliográfica (Bosch et al., 2016; Graham et al., 2009; Näf et al., 2018).

Para a elaboração do questionário, no sentido de se obter respostas fidedignas, foi usado vocabulário simples preciso, evitando-se perguntas de difícil interpretação ou demasiado complexas, tendo sido aplicadas questões segundo a escala de likert, escala VAS e escala de Borg CR-10. O questionário é apresentado no Anexo II.

**Tabela 5:** Descrição das etapas do questionário.

<b>Etapas do questionário</b>	<b>Descrição</b>
<b>Caracterização sociodemográfica</b>	Nesta parte pretende-se obter informação pessoal como género, idade, alguns elementos antropométricos e outros relacionados com a organização, com o objetivo de caracterizar a amostra.
<b>Avaliação geral do uso do exoesqueleto</b>	Nesta parte pretende-se avaliar de uma maneira geral a utilização do equipamento. Para tal, aplicaram-se quatro questões de resposta fechada variáveis entre 1 e 5 (1= “Discordo totalmente”; 2= “Discordo”; 3= “Neutro”; 4= “Concordo”; e 5 = “Totalmente de acordo”), de acordo com a escala de Likert (1932).
<b>Avaliação da adequabilidade do uso do exoesqueleto à tarefa</b>	Nesta parte pretende-se avaliar qual a dificuldade da adequabilidade do exoesqueleto à tarefa. Para tal, aplicaram-se seis questões de resposta fechada variáveis entre 1 e 5 (1= “Discordo totalmente”; 2= “Discordo”; 3= “Neutro”; 4= “Concordo”; e 5 = “Totalmente de acordo”), de acordo com a escala de Likert (1932).
<b>Esforço global com e sem o exoesqueleto</b>	Nesta parte pretende-se avaliar o esforço global sentido na realização da tarefa. Para tal, adaptou-se a escala de Borg CR-10 (Borg, 1990), pedindo ao colaborador que identificasse, entre 0 e 10, o esforço percecionado durante a realização da tarefa com e sem o exoesqueleto.
	Nesta parte pretende-se avaliar o desconforto percecionado durante a utilização do exoesqueleto. Para tal, inicialmente é feita uma pergunta binária de “sim” ou



<b>Desconforto com uso do exoesqueleto</b>	<p>“não” para inferir acerca de algum sintoma de dor. Caso tenham sido referenciados sintomas, o colaborador deve assinalar qual a intensidade da dor percebida nos seguintes segmentos corporais: pescoço, cabeça, região torácica, cotovelos, região lombar, punhos/mãos, ancas e coxas, joelhos e tornozelos e pés. A intensidade da dor é atribuída de acordo com a escala apresentada. Para melhor compreensão da intensidade de dor foi utilizada uma escala analógica visual da dor por faces (adaptada de Ghaderi, Banakar, &amp; Rostami, 2013). Para melhor compreensão das zonas corporais referidas foi utilizado um diagrama corporal (adaptado de Kuorinka et al., 1987). Adicionalmente é ainda questionada a frequência da dor sentida, avaliada numa escala de 1 a 5 (1= “Nunca”; 2= “Raramente”; 3= “Ocasionalmente”; 4 = “Frequentemente”; 5= “Muito Frequente”)</p>
<b>Usabilidade do equipamento</b>	<p>Nesta parte, pretende-se avaliar a usabilidade do exoesqueleto. Para tal, aplicaram-se seis questões de resposta fechada variáveis entre 1 e 5 (1= “Discordo totalmente”; 2= “Discordo”; 3= “Neutro”; 4= “Concordo”; e 5 = “Totalmente de acordo”), de acordo com a escala de Likert (1932).</p>
<b>Comentário livre</b>	<p>Nesta parte pretendeu-se dar oportunidade ao colaborador de adicionar algum comentário sobre a utilização, recomendações, ideias, potencial e possíveis aplicações do exoesqueleto Laevo®.</p>

Inicialmente, após a elaboração da primeira versão do questionário foi aplicado o pré-teste a um pequeno grupo de colaboradores da amostra em estudo de forma presencial. O pré-teste teve como principal objetivo avaliar o questionário no que respeita à linguagem utilizada, estrutura, apresentação, compreensão, tamanho e duração do seu preenchimento. Para a seleção dos colaboradores para aplicação do pré-teste, foi solicitado à empresa a seleção de um pequeno grupo de colaboradores heterógenos ( $n = 3$ ), com diferentes idades, diferente antiguidade na empresa e com espírito crítico.

De seguida, entregou-se o questionário validado aos participantes. Este seria respondido, no fim da utilização do exoesqueleto Laevo®, ao longo de três semanas, tal como sugerido pelo fabricante do equipamento. No fim das três semanas, cada participante responderia a oito questionários. Ao longo do período de teste o tempo de utilização do equipamento vinha a aumentar.

Posto isto, durante a primeira semana a utilização do exoesqueleto tinha a duração de 30 a 60 minutos por dia e a resposta ao questionário era diária após o fim da utilização do equipamento. Na segunda semana, o tempo de utilização do equipamento ia aumentando gradualmente e a resposta ao questionário acontecia no segundo e quinto dia de utilização. Na terceira, e última semana, a utilização do exoesqueleto era mantida durante todo o turno de trabalho (8 horas) e a resposta ao questionário só seria realizada no último dia da semana. Este procedimento, tinha como intuito avaliar o aumento ou diminuição da aceitabilidade do exoesqueleto ao longo do tempo, salvaguardado o efeito da habituação do mesmo.

### 3.5.2 Análise dos dados psicofísicos

Na análise dos dados utilizou-se o *software Microsoft Office Excel®*. O procedimento descrito no ponto anterior não foi possível cumprir devido ao desconforto sentido pelos utilizadores durante a utilização do exoesqueleto e à resistência de utilização do mesmo. Assim, optou-se por avaliar as perceções dos utilizadores em dois momentos: no menor tempo de utilização e no maior tempo de utilização.

Posto isto, e dado o reduzido tamanho da amostra, optou-se por uma análise descritiva exploratória, sendo que para cada uma variáveis (pontuações atribuídas pelos participantes após cada tempo de utilização) considerou-se a mediana, como medida de tendência central desse conjunto finito de dados que consistem em classificações de números inteiros (variando de 1 a 5 ou 1 a 10, consoante o tipo de escala utilizado para cada uma das questões). Para facilitar esta análise exploratória foram construídos gráficos de distribuição das pontuações, representando as medianas, os respetivos valores máximos, mínimos, para o conjunto de tarefas testadas, comparando os dois tempos de utilização (menor e maior).

## 3.6 Avaliação postural

Na revisão bibliográfica da presente dissertação (em 2.4.2) foi evidenciada a justificação da escolha da avaliação postural neste estudo. Assim, optou-se pela utilização do método REBA, pois é um método fidedigno e de fácil aplicação, que permite avaliar o risco de LMERT de uma determinada postura. Importa acrescentar que este método é uma técnica de avaliação ergonómica desenvolvido para avaliar posturas imprevisíveis presentes na área da prestação de cuidados de saúde, contudo, pode ser aplicada de igual forma a postos de trabalho

encontrados nas indústrias. A sua aplicabilidade é justificada, quando se verifica pelo menos uma das seguintes situações: todo o corpo está a ser usado; a postura é estática ou dinâmica; manipulação de cargas com ou sem movimentação; e existência de repetição de movimentos (Hignett & McAtamney, 2000). Pelo exposto, aplicou-se o REBA, sendo que não existem estudos prévios com base na aplicação deste método em tarefas que envolvam a utilização de um exoesqueleto passivo de suporte da zona lombar, aplicou-se o método REBA neste estudo, pois também não se encontrou referências que contrariassem a sua aplicação e porque parece adequado para os objetivos deste estudo.

### 3.6.1 Técnica de recolha de dados e seleção de posturas

Para recolher dados por forma a proceder a uma avaliação postural das tarefas selecionadas, foi necessária a recolha de imagens, de vídeo e fotográficas, em contexto real de trabalho. Adicionalmente, foram também recolhidos dados relacionados com alguns fatores de risco que contribuem para o cálculo do risco global de LMERT. Exemplos disso são o peso da carga manipulada, a existência de posturas estáticas, a existência de repetitividade de movimentos, entre outros.

Segundo Hignett & McAtamney (2000) o critério de seleção de posturas pode basear-se nos seguintes critérios: (1) frequência de adoção da postura; (2) duração do período de tempo em que a postura é mantida; (3) força e atividade muscular exigida; (4) identificação de determinada postura como causadora de desconforto.

Posto isto, neste estudo, o critério de seleção de posturas foi baseado na frequência de adoção de uma determinada postura. Sendo que as posturas mais frequentes de cada uma das tarefas testadas coincidia com o facto de ser uma postura causadora de desconforto lombar, por exigir a flexão frequente do tronco. Para a tarefa 1 (paletização) foi selecionada a postura em que existe uma maior flexão do tronco do participante no movimento de alcançar a peça que se encontrava no tapete transportador (Figura 19).

À semelhança da tarefa anterior, também na tarefa 2 (ajustamento de ripas de madeira) foi selecionada a postura em que existe uma maior flexão do tronco do participante para ajustar as ripas de madeira em cima da palete (Figura 20).



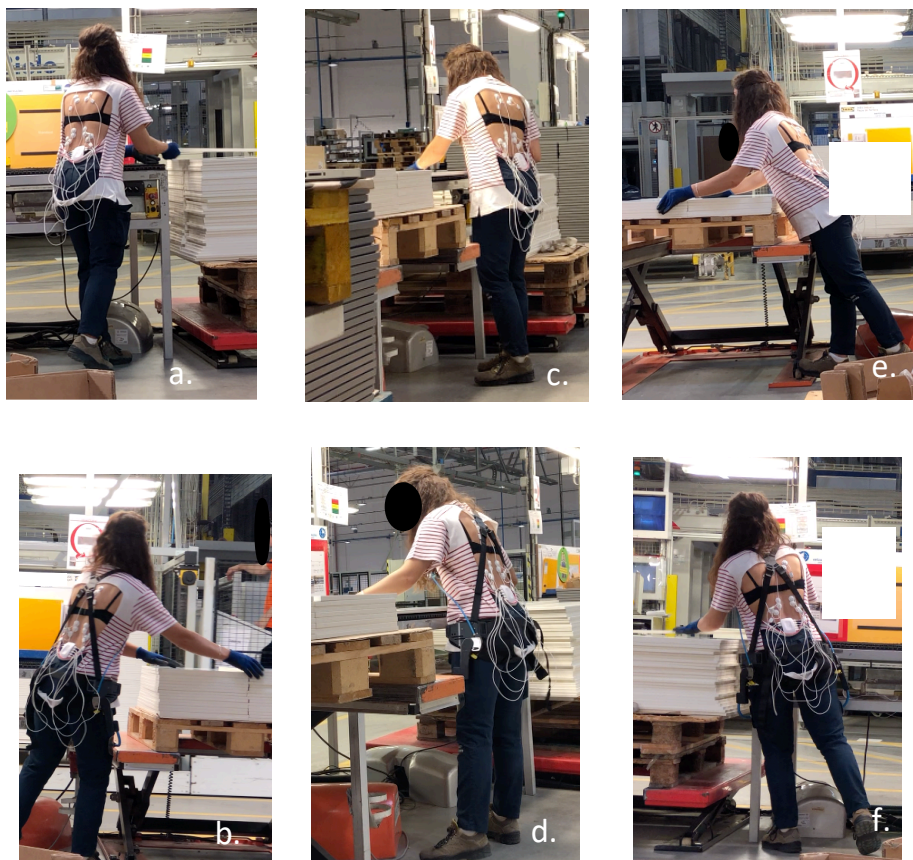
**Figura 19:** Exemplo ilustrativo da postura selecionada na Tarefa 1 em ambas as condições testadas: (a.) sem exoesqueleto; (b.) com exoesqueleto



**Figura 20:** Exemplo ilustrativo da postura selecionada na Tarefa 2 em ambas as condições testadas: (a.) sem exoesqueleto; (b.) com exoesqueleto

Quanto à tarefa 3 (inspeção visual de peças), foram selecionadas três posturas. Cada uma delas é inerente a um dos três elementos em que a tarefa foi subdividida. Também cada uma dessas posturas foi selecionada mediante a frequência (Figura 21).

Em cada das tarefas em estudo, foi selecionada uma postura em cada uma das condições em teste – com ou sem exoesqueleto. Assim, para as Tarefas 1 e 2 foram selecionadas duas posturas (uma com o exoesqueleto e outra sem exoesqueleto) e para a Tarefa 3 foram selecionas seis posturas (três com exoesqueleto e três sem o exoesqueleto), uma vez que a tarefa foi dividida em três elementos. Note-se que esta opção foi devido ao facto da terceira tarefa envolver uma maior variabilidade postural, comparativamente com as outras tarefas (em que a postura é similar ao longo dos ciclos de trabalho).



**Figura 21:** Exemplo ilustrativo das posturas selecionadas em cada um dos elementos da Tarefa 3 em ambas as condições testadas: (a.) elemento 1 sem exoesqueleto; (b.) elemento 1 com exoesqueleto; (c.) elemento 2 sem exoesqueleto; (d.) elemento 2 com exoesqueleto; (e.) elemento 3 sem exoesqueleto; (f.) elemento 3 com exoesqueleto.

### 3.6.2 Aplicação do método REBA

Para a aplicação do método REBA neste estudo, seguiram-se os treze passos sugeridos pelos autores (Hignett & McAtamney, 2000). Assim, através da folha de pontuação presente no Anexo III procedeu-se à atribuição da pontuação dos diferentes segmentos corporais contemplados. Estes encontram-se divididos em dois grupos: grupo A, que incluiu o tronco, pescoço e pernas, e o grupo B, que inclui braço, antebraço e pulsos. Note-se que a pontuação atribuída às posturas do grupo B, foi realizada para o braço (direito ou esquerdo) que apresentava uma postura mais desfavorável em relação à posição neutra.

A pontuação da postura atribuída para cada um dos segmentos incluídos neste método, traduz o desvio existente relativamente à respetiva postura neutra. Desta forma, uma pontuação mais elevada, revela a existência de um maior desvio.

Em concordância com o sugerido pelos autores, à pontuação do grupo A acrescentou-se a pontuação relativa à força aplicada e à pontuação do grupo B adicionou-se a pontuação relacionada com o tipo de ligação (“*coupling*”). Os resultados de ambos os grupos geram um parâmetro de entrada para uma tabela que permite identificar um resultado ao qual é adicionada a pontuação da atividade (relacionada com a existência de posturas estáticas, de repetitividade de movimentos e com necessidade de alternância rápida de posturas ou com verificação de instabilidade postural). Deste modo obtém-se a pontuação REBA final.

A pontuação REBA final, fornece indicações acerca do nível de risco de LMERT implícito a uma tarefa, revelando a necessidade de fazer uma intervenção e/ou correção da situação. Esta pontuação pode variar entre 1 e 15, correspondendo a 5 níveis de risco de LMERT, conforme apresentado na Tabela 6.

**Tabela 6:** Pontuações e níveis de ação REBA (adaptado de Hignett & McAtamney, 2000).

Níveis de ação	Pontuação REBA	Nível de risco	Ação
0	1	Negligenciável	Não necessária.
1	2 - 3	Baixo	Pode ser necessária.
2	4 - 7	Médio	Necessária a médio prazo.
3	8 - 10	Alto	Necessária a curto prazo.
4	11 - 15	Muito alto	Necessária de imediato.

Este método foi aplicado às mesmas tarefas em duas condições distintas: sem exoesqueleto e com exoesqueleto. Tal como Asadi, Yu, & Mott (2019) que aplicaram o método REBA para avaliar diferentes condições de trabalho numa empresa de aviação onde se realizam tarefas com elevada alternância postural, em postos de trabalho de manutenção, reparação e revisão de aviões. Também Suhardi, Astuti, & Widodo (2016) aplicaram este método em tarefas manuais de polimento numa empresa de fabricação de mobiliário.

De forma a aplicar o método de forma mais fidedigna utilizou-se o *Software AutoCAD®*, para medir com maior rigor os ângulos corporais de cada um segmentos corporais contemplados

neste método. Um exemplo de aplicação do método, com uma das tarefas avaliadas, encontra-se no Anexo IV.

### 3.6.3 Análise dos dados posturais

Na análise dos dados utilizou-se o *software Microsoft Office Excel®*. Neste teste, efetuou-se uma análise descritiva. A análise foi realizada separadamente para cada uma das posturas das tarefas estudadas. Para tal, quando a amostra da tarefa apresentava mais do que um indivíduo considerou-se a média, como medida de tendência central desse conjunto finito de dados que consistem na pontuação REBA final.

Considerando que a avaliação contemplou a avaliação de duas condições distintas (com e sem exoesqueleto), na análise pretende-se comparar se existem diferenças posturais e consequentemente aumento ou diminuição do nível de risco de LMERT entre as duas condições, verificando em que medida o exoesqueleto passivo influencia os fatores de risco de LMERT.

## 3.7 Estudo eletromiográfico

Durante esta etapa metodológica foram recolhidos dados referentes à atividade muscular dos participantes através da técnica de EMG, em duas condições distintas: com exoesqueleto e sem exoesqueleto. A revisão bibliográfica que suportou a opção metodológica de aplicar a técnica de EMG no presente estudo foi apresentada no subcapítulo 2.4.3 da presente dissertação.

### 3.7.1 Descrição da tarefa industrial testada

Numa primeira fase, procedeu-se à recolha de dados para a categorização dos participantes e foi estudada a sobrecarga muscular durante a realização da Tarefa 3, verificando possíveis diferenças na atividade muscular entre as condições de realização da tarefa com ou sem exoesqueleto.

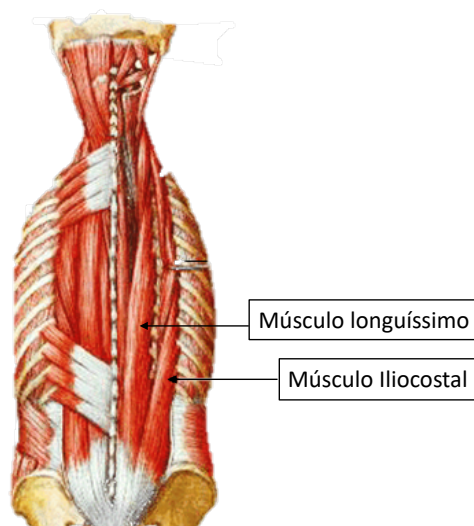
A realização da tarefa testada tinha a duração de 20 minutos e a recolha de dados foi realizada ininterruptamente durante este tempo. A adoção deste período de tempo de aquisição de dados é justificada por um estudo realizado por Carnide, Veloso, Lourenço, Fred, & Gamboa (2012), onde é mostrado que uma aquisição mínima de 20 minutos de dados EMG é suficiente



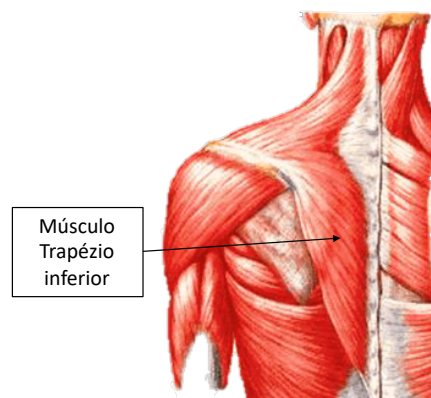
para estimar fidedignamente a APDF (“*Amplitude Probability Distribution Funtion*”) utilizada para avaliar o esforço muscular que um músculo se encontra sujeito durante a realização de uma determinada tarefa. A velocidade dos movimentos foi definida por cada participante, conforme as suas capacidades individuais, estando previsto um período de repouso entre a realização dos dois testes (com duas condições distintas).

### 3.7.2 Seleção dos músculos

Pretendeu-se registar a atividade bilateral dos músculos eretores da coluna, o longuíssimo no nível L1 e o iliocostal no nível L2, bem como do trapézio inferior (a localização destes músculos encontra-se representada nas Figuras 22 e 23). A escolha dos músculos baseou-se na funcionalidade destes e na revisão bibliográfica efetuada, sobretudo no trabalho desenvolvido por Bosch *et al.* (2016) que utiliza uma versão anterior do mesmo exoesqueleto.



**Figura 22:** Representação dos músculos longuíssimo eretor da coluna e iliocostal eretor da coluna (adaptado de Netter, 2011)



**Figura 23:** Representação do músculo trapézio inferior (adaptado de Netter, 2011).



Nos estudos centrados na análise da sobrecarga musculoesquelética durante a utilização de um exoesqueleto passivo de suporte dorsal, através de dados obtidos por EMG, foram sendo estudados outros músculos com particular relevância para realização da validação deste tipo de equipamentos em tarefas de flexão de tronco. Nomeadamente, músculos extensores da coluna vertebral, como o grupo muscular eretor da coluna (subdividido em iliocostal, longuíssimo e espinal), abdominal oblíquo, abdominal reto, bíceps femoral, reto femoral, glúteo máximo e tibial anterior (Abdoli-E et al., 2006; Bosch et al., 2016; Graham et al., 2009; Koopman et al., 2019; Ulrey & Fathallah, 2011; Whitfield et al., 2014).

A utilização do número reduzido de músculos (três músculos bilateralmente) neste estudo, é justificada pelo facto de este ter sido realizado em contexto industrial, com tarefas reais de inclinação de tronco, pelo que um número exagerado de músculos obrigaria ao uso de vários elétrodos, comprometendo a liberdade de movimentos e o uso de vestuário. Também num estudo desenvolvido em ambiente industrial, por Graham et al., (2009), relativamente à utilização do exoesqueleto *PLAD*, foram avaliados um reduzido número de músculos (seis músculos).

Adicionalmente importa esclarecer que a opção metodológica de estudar bilateralmente a atividade muscular baseou-se, também, em estudos prévios, centrados na avaliação de carga muscular de exoesqueletos ocupacionais (Abdoli-E et al., 2006; Bosch et al., 2016; Graham et al., 2009; Koopman et al., 2019; Ulrey & Fathallah, 2011; Whitfield et al., 2014) e pelo facto de se tratar de um estudo realizado com tarefas reais em contexto industrial, pelo que poderá existir alguma assimetria bilateral na realização das tarefas. Assim, e sintetizando, os músculos estudados foram os seguintes:

1. Longuíssimos esquerdo e direito em L1 (LE, LD);
2. Iliocostais esquerdo e direito em L2 (IE, ID);
3. Trapézios inferior esquerdo e direito (TE, TD).

### 3.7.3 Recolha de dados eletromiográficos

Os dados de EMG foram recolhidos através do aparelho portátil *wireless 8-channel biosignals Plux HUB®* (Figura 24). O funcionamento do referido aparelho baseia-se na monitorização de bio-sinais (como é o caso da atividade muscular), a partir de pares de elétrodos bipolares fixados na pele dos indivíduos. O aparelho apresenta oito canais de captação de sinais, onde,

a cada um, é ligado um cabo através do qual se ligam os pares de elétrodos (separados em 2 cm) fixados na pele dos participantes. Adicionalmente também existe um outro canal, com a função de ligação do elétrodo de referência (elétrodo “Ground”). Devido à sua portabilidade, o equipamento pode ser facilmente utilizado durante a realização de tarefas dinâmicas. Este recebe e envia sinais, em tempo real, via Bluetooth® para o computador com o qual está sincronizado e também permite o agendamento da recolha de dados por aquisição em *off-line*, gravando os dados na memória interna do equipamento (BiosignalsPlux, 2018).



**Figura 24:** Aparelho portátil wireless 8-channel biosignals Plux HUB® usado na recolha de dados de EMG.

As gravações dos dados foram feitas na memória interna do eletromiógrafo, tendo sido a frequência de amostragem igual a 1000 Hz, impedância de entrada de 100 GΩ, fator de rejeição comum de 110 dB e canais de recolha analógicos de 16 bit. A aquisição de dados foi obtida em modo offline por agendamento, pois, após várias tentativas, não foi possível obter dados em tempo real, talvez devido ao ruído eletromagnético existente causado pela quantidade de equipamentos elétricos existente no local de estudo. O agendamento da aquisição de dados foi feita através do *software OpenSignals (r)evolution* de 2017, através da opção *Scheduling Offline Acquisitions*.

A identificação dos locais de fixação dos pares de elétrodos nos músculos considerados neste estudo, foi realizada segundo as orientações do protocolo SENIAM (*Surface Electromyography for the Non-Invasive Assessment of Muscles*). A marcação do centro para cada par de elétrodos foi feita sobre a linha traçada entre os pontos anatómicos de referência. De igual modo, importa também referir que, para cada músculo, se seguiram as seguintes orientações gerais: a localização longitudinal sobre o músculo deve estar a meio entre a zona da placa motora e do tendão; a localização transversal sobre o músculo deve estar o mais afastada possível da extremidade próxima de outros músculos ou subdivisões; os elétrodos devem ser aplicados paralelamente às fibras musculares (SENIAM, n.d.). Os tamanhos dos elétrodos também

seguiram estas orientações, pelo que foram utilizados elétrodos circulares, com 1 cm de diâmetro, compostos por Ag/AgCl e autoadesivos.

Anteriormente à fixação dos elétrodos, foi feita a preparação da pele. Este procedimento permite estabilizar o contacto da pele com o eletrodo e reduzir a impedância da mesma. Este procedimento encontra-se descrito na Tabela 7.

**Tabela 7:** Procedimento de preparação da pele nas zonas de fixação dos elétrodos.

<b>Etapas de preparação da pele</b>	<b>Descrição do procedimento</b>
<b>1. Retirar pilosidades</b>	Cortar com lâmina descartável possíveis pilosidades na área em torno do centro de colocação dos pares de elétrodos (cerca de 30 mm <sup>2</sup> ).
<b>2. Limpar pele</b>	Retirar células mortas da área indicada, passando 3 a 4 vezes uma lixa fina (com pressão ligeira até a pele ficar ligeiramente ruborizada). Terminar a limpeza com algodão embebido em álcool.

Agora importa também esclarecer os procedimentos adotados na marcação do local dos elétrodos exemplificando apenas um dos músculos de cada região analisada, direito ou esquerdo, sendo que neste trabalho foram colocados elétrodos bilateralmente. Este procedimento seguiu as recomendações do SENIAM.


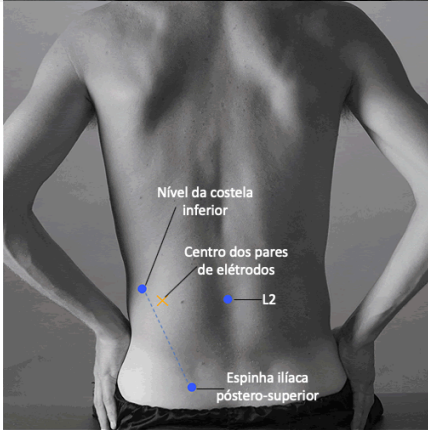
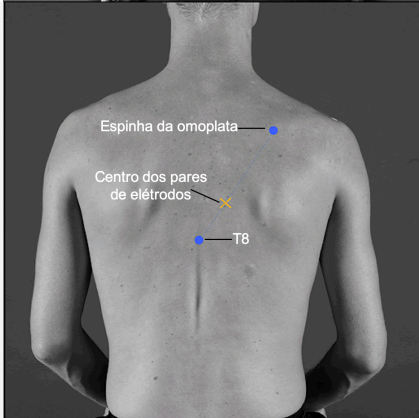
Para o longuíssimo em L1, os participantes adotaram a posição sentados com ligeira flexão do tronco. O centro de colocação dos dois elétrodos localiza-se a uma distância igual à largura de dois dedos relativamente ao processo espinhoso de L1. Para auxiliar a identificação desta vértebra, deve-se procurar a apófise espinhosa localizada três vértebras acima da que fica ao nível das cristas ilíacas (L4). E para facilitar na confirmação do ventre muscular solicitou-se uma ligeira extensão do tronco. A orientação dos elétrodos é vertical, paralelamente à coluna vertebral.

Relativamente ao iliocostal em L2, a posição adotada durante a marcação da zona dos elétrodos é a mesma do músculo anterior. Os elétrodos são colocados a um dedo de largura, no sentido medial, da linha da espinha ilíaca pósterio-superior ao ponto mais inferior da costela inferior ao nível de L2. A orientação dos elétrodos deve respeitar a linha entre a espinha ilíaca pósterio-superior e o ponto mais inferior da costela inferior.

Quanto ao trapézio inferior, a posição inicial para marcação do centro dos dois elétrodos consiste na adoção da posição sentada com as costas eretas e com os braços pendurados

verticalmente. Os elétrodos são colocados a dois terços da linha entre a espinha da omoplata e a 8ª vértebra torácica. A orientação dos elétrodos deve respeitar a linha entre a 8ª vértebra torácica e o acrómio. A informação relativa ao protocolo de marcação dos músculos estudados encontra-se resumida na Tabela 8.

**Tabela 8:** Músculos estudados por EMG e respetivos protocolos de marcação do local de fixação dos elétrodos (adaptado de SENIAM, s.d.).

Músculo	Localização do ponto de referência e do centro dos elétrodos	Posição adotada na marcação	Localização do centro dos elétrodos	Orientação elétrodos
<b>Longíssimo eretor da espinha em L1 (lado esquerdo)</b>		Sentado com ligeira flexão do tronco	A dois dedos de largura da apófise espinhosa de L1, sobre o ventre muscular	Vertical, paralelamente à coluna vertebral.
<b>Iliocostal eretor da espinha em L2 (lado esquerdo)</b>		Sentado com ligeira flexão do tronco	A um dedo de largura, no sentido medial, da linha da espinha ilíaca pósterio-superior ao ponto mais inferior da costela inferior ao nível de L2.	Segundo a linha entre a espinha ilíaca pósterio-superior e o ponto mais inferior da costela inferior.
<b>Trapézio inferior em T8 (lado direito)</b>		Sentado com as costas eretas e os braços pendurados verticalmente	A 2/3 na linha entre a espinha da omoplata e a 8ª vértebra torácica.	Segundo a linha entre T8 e o acrómio.

No que toca ao eléctrodo de referência (que deve ser colocado numa zona não afetada eletricamente), este foi colocado no processo espinhoso em C7.

Após preparação da pele e fixação dos eléctrodos, procedeu-se à recolha de dados eletromiográficos (Figura 25). Esta recolha, compreendeu duas condições distintas. Ambas as condições implicavam a realização da tarefa descrita em 3.7.1 da presente dissertação. Estas apenas se diferenciavam-se no facto de uma ser realizada sem a utilização do exoesqueleto e a outra com a utilização do exoesqueleto. Importa também clarificar que a ordem de realização da tarefa nas diferentes condições foi sendo alterada de participante para participante. Isto é, se um participante iniciava o teste na condição sem exoesqueleto e de seguida na condição com exoesqueleto, o participante seguinte iniciava o teste na condição com exoesqueleto e depois na condição sem exoesqueleto, e assim sucessivamente. Este procedimento foi adotado, de forma a que fadiga muscular e a probabilidade de deslocação dos eléctrodos ao longo do tempo, não fossem um fator que pudesse influenciar os resultados.



**Figura 25:** Eléttodos fixados no corpo de um participante e conectados com o eletromiógrafo.

Adicionalmente, foram adquiridas a Contração Máxima Voluntária (CMV) de cada um dos músculos de cada um dos participantes. Essa contração fornece o valor máximo da contração possível de um determinado músculo (Jonsson, 1982). Para a obtenção da CMV músculos eretores da coluna, pediu-se aos participantes que fizessem uma extensão das costas e uma extensão das costas com inclinação lateral (direita e esquerda) (Butler, Hubley-Kozey, &

Kozey, 2009). Para os trapézios, pediu-se aos participantes que fizessem uma elevação dos braços (Ekstrom, Donatelli, & Soderberg, 2003).

Assim, resumidamente, o procedimento de recolha de dados EMG foi o seguinte: (1) marcar o centro de colocação do par de elétrodos; (2) preparar a pele nas zonas de fixação dos elétrodos; (3) fixar os elétrodos paralelamente às fibras musculares; (4) esperar pelo menos 3 minutos antes da recolha de sinais EMG; (5) estabelecer a conexão através da fixação dos cabos nos elétrodos; (6) solicitar o relaxamento ao participante; (7) solicitar ao participante a realização dos movimentos apropriados para a recolha da CMV; (8) reservar um período de repouso antes de iniciar a realização da tarefa em estudo (9) solicitar ao participante a realização da tarefa na condição 1 (com ou sem exoesqueleto); (10) registar os dados de EMG durante a realização da tarefa na condição 1; (11) reservar um período de repouso antes de iniciar o teste da condição seguinte; (12) solicitar ao participante a realização da tarefa na condição 2 (sem ou com exoesqueleto); (12) registar os dados de EMG durante a realização da tarefa na condição 2.

Os dados eletromiográficos obtidos foram processados através da aplicação informática *OpenSignals (r)evolution® de 2017*. Esta aplicação informática, possui um *Add-On* denominado de “*muscle load*”. Este permite avaliar a carga muscular que os músculos são submetidos durante a realização de uma determinada tarefa, fornecendo informação de se o músculo se encontra cansado ou em fadiga, permitindo por isso avaliar se um trabalhador se encontra a trabalhar em condições seguras ou arriscadas (BiosignalsPlux, 2018).

O primeiro passo do processamento é a normalização dos dados através do CMV. Após a introdução do CMV, calculou-se a APDF de cada um dos seis canais utilizados separadamente. Esta função calcula o histograma percentual acumulado dos dados em termos percentagem do CMV e exibe se a carga muscular que os músculos estão sujeitos durante a tarefa testada estão a causar cansaço ou fadiga muscular aos músculos testados.

Assim, de forma a calcular a APDF, a aplicação utilizada segue os seguintes passos:

1. Cálculo do sinal EMG através retificação e suavização do sinal EMG por aplicação de um filtro “*low-pass*”;
2. Determinação do histograma da amplitude do sinal EMG de cada músculo em relação à CMV;

3. Cálculo do histograma cumulativo da distribuição da amplitude EMG e mapeamento dos valores de probabilidade em relação à distribuição do músculo para CMV (Jonsson, 1982).

Desta forma a amplitude do sinal EMG, bem como a distribuição de probabilidade, estão relacionadas com a CMV, o que permite comparar entre vários músculos ou entre várias tarefas e ainda estimar valores médios das tarefas em função da APDF. Assim, os resultados finais da APDF permitem avaliar a intensidade relativa da atividade muscular para diferentes tarefas (BiosignalsPlux, 2018). O protocolo detalhado de recolha e processamento dos dados, encontra-se no Anexo V.

Os dados analisados foram baseados na amplitude do nível médio de contração muscular obtidas através da análise da APDF. Estes foram analisados estatisticamente no *software IBM® SPSS® Statistics 25.0*. Primeiramente procedeu-se à aplicação do teste *Kolmogorov-Smirnov* para testar a normalidade dos dados. Provada a normalidade ( $p > 0,05$ ), estudou-se a diferença entre as médias da amplitude de nível médio das duas condições testadas para cada um dos músculos através do teste *t-student* para duas amostras emparelhadas. Os *outputs* destes testes encontram-se no Anexo VI.

Por fim os parâmetros recolhidos foram organizados em folhas de cálculo no *software Microsoft Office Excel®* para criar tabelas e gráficos.

## **4. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DE RESULTADOS**

### **4.1 Contextualização do capítulo**

Neste capítulo apresentam-se os resultados respeitantes ao estudo psicofísico, através de estatística descritiva. Também se apresentam os resultados provenientes da análise de risco de LMERT efetuada através do método REBA. Adicionalmente apresenta-se os resultados relativos ao estudo eletromiográfico. Simultaneamente a cada estudo, apresenta-se também a discussão de resultados. Esta divisão é apresentada em subcapítulos distintos.

### **4.2 Resultados do estudo psicofísico**

O estudo psicofísico desenvolveu-se numa empresa que se dedica à produção de mobiliário. Os testes decorreram entre abril e junho de 2019. O início de cada teste contemplou o preenchimento do termo de consentimento livre e informado, seguido da recolha dos dados psicofísicos através do questionário.

#### **4.2.1 Caracterização da amostra**

A amostra deste estudo psicofísico foi constituída por 7 colaboradores (5 homens e 2 mulheres) sem historial de problemas musculoesqueléticos. Como demonstrado na Tabela 9, a idade média da amostra é de 33,0 ( $\pm 11,0$ ) anos, variando entre 21 e 51 anos. As alturas variam entre 1,64m e 1,82m, sendo a altura média de 1,74 ( $\pm 0,07$ ) m. Quanto ao peso médio da amostra é de 69,45 ( $\pm 14,04$ ) Kg, variando entre 50 e 86 Kg. Como foi evidenciado na metodologia (em 3.5), os resultados para este estudo, são referentes ao menor tempo de utilização do exoesqueleto e ao maior tempo de utilização do exoesqueleto, pelo facto de não ter sido possível cumprir as três semanas de teste como previamente planeado, pelo facto dos participantes não terem sido capazes de suportar o desconforto causado pelo equipamento, aumento assim a sua resistência à utilização do mesmo. Assim, em média, a média do menor tempo de utilização foi de 0,54 ( $\pm 0,09$ ) h, sendo que este variou entre 0,5 h e 0,75 h. O maior tempo de utilização, variou entre 0,83 h e 2 h, sendo o tempo médio de 1,40 ( $\pm 0,56$ ) h.



**Tabela 9:** Caracterização da amostra do estudo psicofísico ( $n = 7$ ).

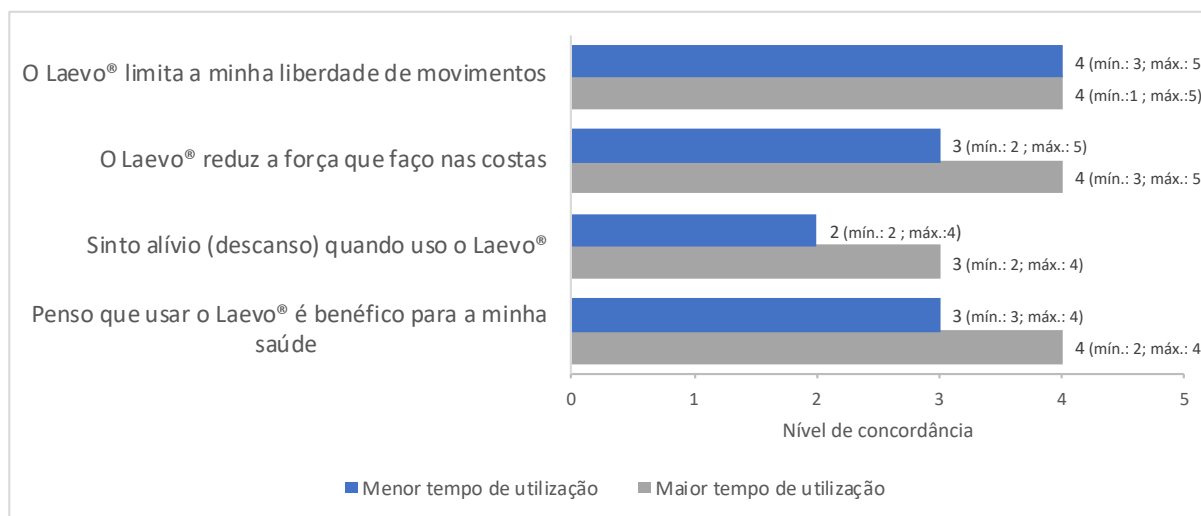
Variáveis	Média	Desvio padrão
Idade (anos)	33,0	11,0
Alturas (m)	1,74	0,07
Peso (Kg)	69,42	14,04
Menor tempo de utilização (h)	0,54	0,09
Maior tempo de utilização (h)	1,40	0,56

#### 4.2.2 Estudo de comparação das pontuações psicofísicas entre os dois tempos de utilização do exoesqueleto

Face aos objetivos do presente estudo, construíram-se gráficos de barras com os valores de mediana por forma a comparar as perceções dos utilizadores relativamente à sua experiência com o exoesqueleto Laevo<sup>®</sup>. Como mencionado anteriormente, o estudo psicofísico incidiu em seis etapas distintas. A primeira, caracterização sociodemográfica, foi abordada no ponto anterior. As restantes, nomeadamente, a avaliação geral do uso do exoesqueleto, a avaliação da adequabilidade do uso do exoesqueleto à tarefa, o esforço global com e sem o exoesqueleto, o desconforto com uso do exoesqueleto, a usabilidade do equipamento e comentário livre, serão abordadas de seguida. Estas etapas são abordadas de forma a mostrar a pontuação atribuída no menor tempo de utilização, comparativamente ao maior tempo de utilização.

Posto isto, apresentam-se de seguida, na Figura 26, os resultados relativos à avaliação geral do uso do exoesqueleto nos dois tempos de utilização. De forma a ajudar a interpretação do gráfico de barras apresentado de seguida, sugerem-se alguns esclarecimentos. A pontuação 1 significa “discordo totalmente”, a pontuação 2 significa “discordo”, a pontuação 3 significa “neutro”, a pontuação 4 significa “concordo” e a pontuação 5 significa “totalmente de acordo”.

Esclarece-se ainda que uma pontuação elevada à questão “O Laevo<sup>®</sup> limita a minha liberdade de movimentos” constituiu um ponto contra a utilização do exoesqueleto. Antagonicamente, uma pontuação elevada às restantes questões constituiu um ponto a favor em relação à utilização do exoesqueleto.



**Figura 26:** Representação gráfica da mediana (e respectivos mínimos e máximos) das pontuações psicofísicas dos participantes relativamente à avaliação geral do uso do exoesqueleto nos dois tempos de teste.

Assim, através da análise do gráfico representado na Figura 26 podemos verificar que, de uma maneira geral, existem melhorias na impressão geral dos participantes relativas ao exoesqueleto com o aumento do tempo de utilização. Os participantes consideram que, com o aumento do tempo de utilização, o equipamento reduz a força que fazem com as costas, aumenta a sensação de alívio e aumenta a percepção de que se torna benéfico para a saúde dos utilizadores. Note-se que nestas questões a pontuação mínima e máxima, com o aumento do tempo de utilização, manteve-se ou aumentou com exceção da questão “penso que usar o Laevo® é benéfico para a minha saúde” em que o valor mínimo diminuiu.

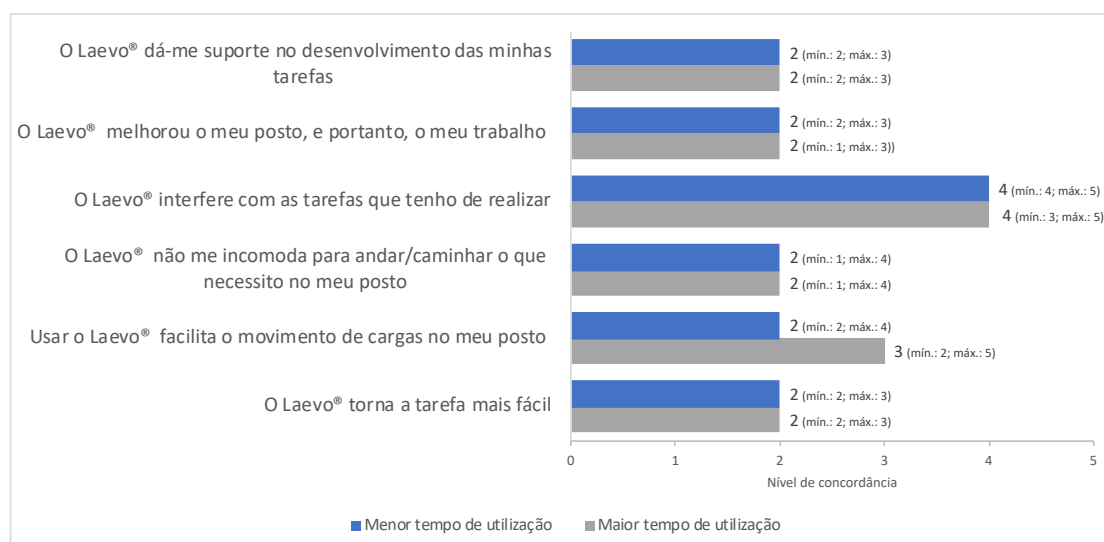
Considerando que, no cômputo geral, os participantes deste estudo concordam que o exoesqueleto reduz a força percebida exercida pelas costas durante a utilização do exoesqueleto, destacam-se dois estudos em que se evidenciam a opinião dos utilizadores relativos à utilização de um exoesqueleto passivo de suporte para as costas. Assim, num estudo piloto ( $n = 3$ ) de Näf *et al.* (2018), em que foi utilizado um protótipo de exoesqueleto, utilizando uma escala de 0 (“grande redução”) a 10 (“nenhuma redução”), os participantes, em média, consideram o valor 6,1 para esta categoria. Neste mesmo estudo, são comparados os resultados com um outro autor (Baltrusch *et al.*, 2017), que desenvolveu um estudo com o exoesqueleto Laevo®, que mostra que a pontuação para esta categoria foi de 6,3, utilizando a mesma escala. Comparativamente a estes dois estudos prévios, a pontuação obtida neste trabalho, apesar de se utilizar uma escala de 5 pontos, parece mostrar uma melhoria na

percepção dos utilizadores. Esta melhoria pode ser explicada pelo facto de serem equipamentos distintos, um por ser um protótipo e o outro por ser uma versão anterior ao equipamento utilizado neste trabalho. Em concordância com estes resultados, Graham *et al.* (2009), num estudo ( $n = 10$ ) em contexto real, com o exoesqueleto PLAD, mostra que os utilizadores consideram o exoesqueleto benéfico na redução da força realizada pelas costas. Outra explicação encontrada para estes resultados, poderá ser o facto de tanto este trabalho, como o estudo de Graham *et al.* (2009), terem sido desenvolvidos em contexto real. Isto é, como os participantes estão habituados a sentir a força sentida nas costas durante o seu trabalho (uma vez que estão afetos a tarefas que envolvem a flexão do tronco), terão uma maior sensibilidade para sentir se algum equipamento efetivamente reduzir a força percebida nessa região.

Relativamente à percepção dos participantes quanto à liberdade de movimentos permitida pelo exoesqueleto Laevo<sup>®</sup>, estes mencionaram concordar que o exoesqueleto limita a sua liberdade. Note-se que com o aumento do tempo de utilização o valor mínimo atribuído reduz de 3 para 1, evidenciado que com o tempo, pelo menos um participante discorda da falta da liberdade de movimentos da utilização do exoesqueleto. Estes resultados não estão de acordo com o estudo de Näf *et al.* (2018). Numa escala de 0 (“não restrito”) a 10 (“muito restrito”), os participantes do referido estudo atribuíram uma pontuação de 1,4 para esta questão. Isto significa que os participantes atribuem uma pontuação positiva a esta questão, contrariamente aos resultados obtidos no trabalho da presente dissertação. A diferença encontrada comparativamente com o estudo de Näf *et al.* (2018) é facilmente explicada pelo facto do protótipo de exoesqueleto utilizado ter sido especificamente desenvolvido para acompanhar os movimentos dos utilizadores e por isso possui feixes flexíveis para o efeito.

Passando agora para outra etapa avaliada no questionário deste estudo psicofísico, nomeadamente a avaliação da adequabilidade do uso do exoesqueleto à tarefa, evidencia-se na Figura 27 os resultados. À semelhança com a etapa anterior, a categorização atribuída à pontuação de 1 a 5 é a mesma.

Importa explicitar que a atribuição de uma pontuação elevada à questão “O Laevo<sup>®</sup> interfere com as tarefas que tenho a realizar”, significa um ponto contra a adequabilidade do exoesqueleto à tarefa. Contrariamente uma pontuação elevada às restantes questões significa um ponto a favor do exoesqueleto nos postos de trabalho reais.



**Figura 27:** Representação gráfica da mediana (e respetivos mínimos e máximos) das pontuações psicofísicas dos participantes relativamente à dificuldade da adequabilidade do uso do exoesqueleto à tarefa nos dois tempos de teste.

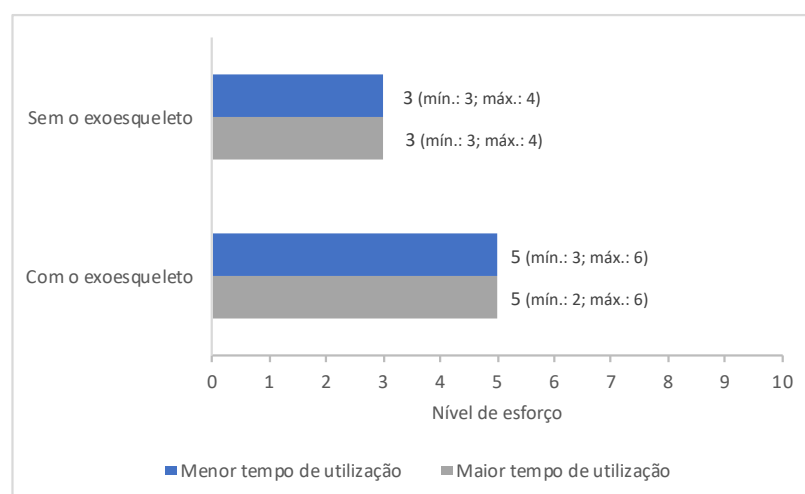
Pela interpretação dos resultados obtidos para esta etapa de avaliação, verifica-se que, de uma maneira geral, o exoesqueleto não é adequado, na opinião dos utilizadores, para as tarefas testadas. Em todas as questões não se verificaram diferenças entre os dois tempos de utilização do exoesqueleto, com exceção da questão “usar o Laevo® facilita o movimento de cargas no meu posto de trabalho”, em que com o menor tempo médio de utilização o valor mediano atribuído é de 2 pontos, variando entre 2 e 4, e com o aumento do tempo de utilização valor mediano atribuído é 3 pontos, variando entre 2 e 5 pontos.

Relativamente à questão “o Laevo® dá-me suporte no desenvolvimento das minhas tarefas”, num estudo já referenciado neste subcapítulo, levado a cabo por Näf *et al.* (2018), onde foi utilizada uma escala de 0 ( “alto suporte”) a 10 (“nenhum suporte”), os participantes atribuíram a pontuação de 5,9 pontos. Também, relativamente a esta questão, este autor compara os resultados com os obtidos por Baltrusch *et al.* (2017) para o exoesqueleto Laevo®, tendo sido a pontuação atribuída de 6,5. Ambos os valores são superiores ao valor médio da escala, o que evidencia uma pontuação negativa para esta categoria. Desta forma, verifica-se que tanto no presente estudo, como no estudo dos autores referenciados, para o suporte do exoesqueleto nas tarefas a pontuação é negativa, evidenciando uma má compatibilidade entre o exoesqueleto e a perceção dos utilizadores quanto à sua adequabilidade às tarefas.

Ainda relativa a esta etapa do questionário e com relação à questão “o Laevo® interfere com as tarefas que tenho de realizar”, verificou-se uma pontuação de 4 (“concordo”) valores como valor mediano das respostas dos utilizadores, para ambos os tempos de utilização. Esta

questão remete-nos novamente para os estudos de Näf *et al.* (2018) e de Baltrusch *et al.* (2017) (citado pelo anterior). A esta questão é atribuída uma pontuação de 1,7 e de 3,3, respetivamente em ambos os estudos, numa escala de 0 (“nenhuma interferência”) a 10 (“alta interferência”). Adicionalmente, importa também referir um estudo também já referenciado neste subcapítulo, desenvolvido por Graham *et al.* (2009) onde 8 em 10 participantes do estudo consideraram que o exoesqueleto PLAD não interfere na tarefa testada. Como se pode verificar, as perceções dos participantes do trabalho aqui desenvolvido são antagónicas às perceções dos estudos referenciados. Isto poderá ser explicado pelo facto de tanto as tarefas testadas por Näf *et al.* (2018) e Baltrusch *et al.* (2017), em laboratório, como a tarefa testada por Graham *et al.* (2009), em contexto real serem muito simples. Relativamente às tarefas testadas pelo último estudo mencionado, estas são muito restritas, envolvendo fletir o tronco para dentro de um automóvel para realizar tarefas de montagem. Estas condições não se verificaram nas tarefas testadas no estudo da atual dissertação, uma vez que as mesmas, apesar de terem uma forte componente estática de flexão de tronco ou envolverem manipulação de cargas, possuíam uma multiplicidade de outros movimentos inerentes aos postos de trabalho, como andar ou estar próximo de máquinas ou objetos e isso poderá estar na base da pontuação negativa atribuída pelos participantes à adequabilidade do exoesqueleto à tarefa.

Debruçando-nos agora sobre a etapa seguinte deste estudo, a avaliação do esforço global percecionado com e sem o exoesqueleto. Os resultados desta etapa encontram-se evidenciados na Figura 28, que é apresentada de seguida.



**Figura 28:** Representação gráfica da mediana (e respetivos mínimos e máximos) das pontuações psicofísicas dos participantes relativamente ao esforço global percecionado com e sem exoesqueleto nos dois tempos de utilização testados.

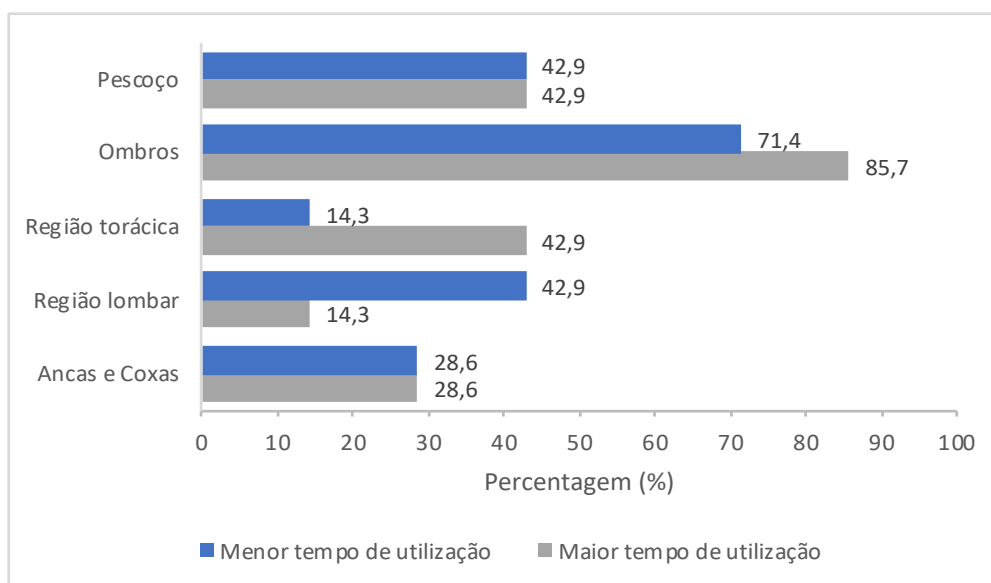
De maneira a facilitar a interpretação dos resultados, evidencia-se a categorização do valor mínimo e máximo da escala de avaliação do nível de esforço. Esta escala varia de 0 a 10, em que 0 significa “nenhum esforço” e 10 significa “fadiga total”.

Debruçando-nos agora sobre a interpretação dos resultados, verifica-se que não existem diferenças entre os valores medianos nas condições sem e com exoesqueleto para os dois tempos de utilização do exoesqueleto. A única diferença encontrada entre os dois tempos de utilização, refere-se ao valor mínimo atribuído na condição com exoesqueleto, em que se verifica uma diminuição de 3 para 2 de esforço percebido da condição de menor tempo de utilização para a de maior tempo de utilização. O facto dos valores serem constantes ao longo do tempo, mostra não existir fadiga do ponto de vista cardiovascular (Graham et al., 2009).

Reparando agora nas diferenças entre a condição sem exoesqueleto e a condição com exoesqueleto, verifica-se que existe um aumento do esforço percebido na condição com exoesqueleto comparativamente à outra condição. O aumento é de 3 (“moderado”) para 5 (“difícil”). Estes resultados não se encontram em concordância com os resultados do estudo de Graham *et al.* (2009), em que o valor de tendência central na escala de Borg RPE-20 para a condição sem exoesqueleto é 10 (“leve”) e na condição com exoesqueleto é 8 (“muito leve”). Note-se que nesta etapa se encontra a avaliar o esforço global percebido e não apenas o esforço das costas percebido. Nesta ótica, vários fatores podem influenciar a percepção dos trabalhadores quanto ao esforço global percebido. Por exemplo, e como evidenciado na etapa do questionário anterior, o facto do exoesqueleto interferir na realização da tarefa, poderá obrigar a um maior esforço na realização da mesma, por exemplo a caminhar ou a aproximar-se de objetos e máquinas.

Quanto à etapa seguinte, referente ao desconforto percebido com o uso do exoesqueleto Laevo<sup>®</sup>, evidencia-se, na Figura 29, a percentagem da amostra que sente desconforto nos diversos segmentos corporais questionados. Acrescenta-se que nenhum participante mencionou sentir dor nos cotovelos, punhos/mãos, joelhos e tornozelos/pés. Adicionalmente, apresenta-se na Figura 30 o desconforto percebido nos segmentos corporais evidenciados pelos participantes, numa escala de 0 (“sem dor”) a 10 (“dor máxima”). E ainda na Tabela 10 a frequência com que os participantes mencionaram sentir dor (mediana, mínimo e máximo). Todos estes resultados são apresentados no menor tempo médio de utilização ( $0,54 \pm 0,09$ h) e no maior tempo médio de utilização ( $1,40 \pm 0,56$  h) do exoesqueleto.

Como é evidenciado pela Figura 29 não existem diferenças entre a percentagem da amostra que sente desconforto no pescoço e ancas e coxas nos dois tempos de utilização testados. Relativamente aos ombros verifica-se um aumento 14,3% da amostra que sente dor no tempo de maior utilização comparativamente ao tempo de menor utilização. Quanto à região torácica, também se verifica um aumento na percentagem da amostra que sente dor com o aumento do tempo de utilização (28,6%). A região lombar é a única, cuja percentagem da amostra diminuiu com um maior tempo de utilização, na ordem de 28,6% de diferença.



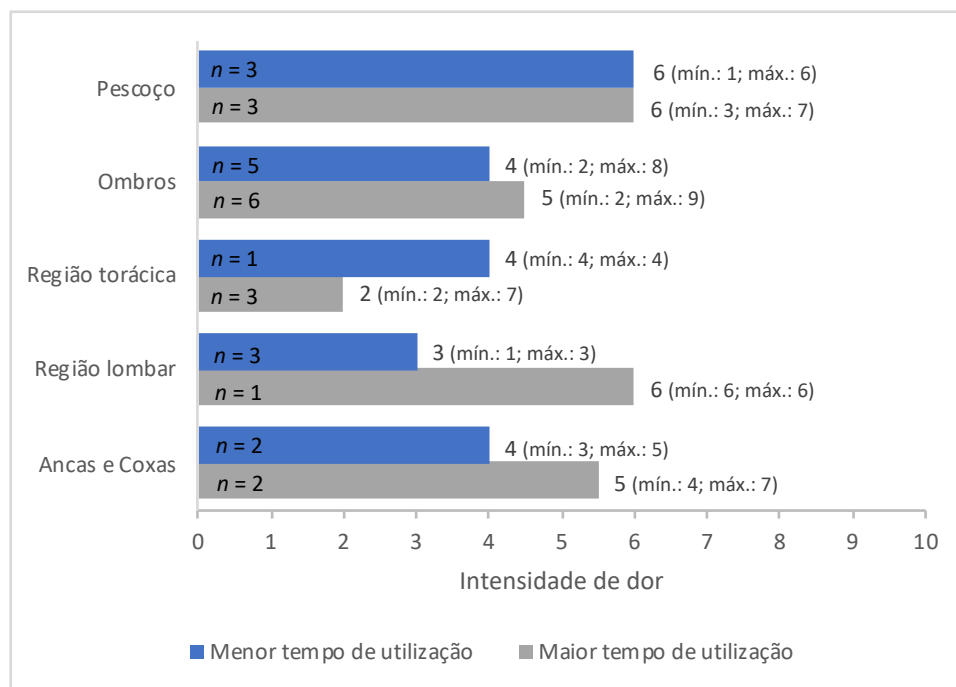
**Figura 29:** Representação gráfica da percentagem da amostra que sente desconforto nas diversas regiões corporais nos dois tempos de utilização do exoesqueleto testados.

Relativamente à Figura 30, verifica-se que a intensidade da dor percecionada aumentou com o tempo de utilização nos ombros, região lombar, ancas e coxas. Note-se que apesar da intensidade mediana da dor lombar ter aumentado, o número de participantes que mencionaram sentir dor lombar diminuiu com o aumento do tempo de utilização.

Verifica-se também que a intensidade diminuiu com o aumento do tempo de utilização para a região torácica. Note-se que apesar da intensidade mediana da dor torácica ter diminuído, o número de participantes que mencionaram sentir dor torácica aumentou com o tempo de utilização. A intensidade da dor no pescoço manteve-se igual em ambos os tempos de utilização, evidenciando-se ainda assim o aumento dos valores mínimos e máximos registados com o aumento do tempo.

Estes resultados apresentam novas evidências de desconforto percecionado com utilização do exoesqueleto Laevo®, uma vez que no único estudo encontrado onde se avaliou o

desconforto percebido na utilização deste exoesqueleto (apesar de numa versão anterior do mesmo) foi no estudo ( $n = 18$ ) desenvolvido por Bosch *et al.* (2016) em contexto laboratorial. Os autores avaliaram o desconforto utilizando um mapa corporal e uma escala de 0 (“sem desconforto”) a 10 (“desconforto extremo”). Nos seus resultados evidenciam que os participantes apenas mencionaram sentir desconforto nas costas (1), pernas (1,6) e peito (0,5) na condição com exoesqueleto. No teste de Bosch *et al.* (2016) foi avaliada uma tarefa simulada de montagem em que os participantes mantinham uma flexão do tronco de 40°.



**Figura 30:** Representação gráfica da mediana (e respetivos mínimos e máximos) das pontuações psicofísicas dos participantes relativamente à intensidade da dor percebida nos diversos segmentos corporais nos dois tempos de teste.

Por fim, quanto à frequência com que os participantes sentem desconforto geral com a utilização do exoesqueleto, esta está evidenciada na Tabela 10. De forma a facilitar a interpretação da mesma, é importante clarificar que foi utilizada uma escala de 1 a 5, em que 1 significa “nunca”, 2 significa “raramente”, 3 significa “ocasionalmente”, 4 significa “frequentemente” e 5 significa “muito frequentemente”.

Pela interpretação da referida tabela, verifica-se que não existem diferenças na frequência do desconforto percebido com o aumento do tempo de utilização do exoesqueleto, tanto para o valor da mediana como para os valores mínimos e máximos atribuídos pelos participantes. Posto isto, demonstra-se que os participantes mencionaram sentir desconforto



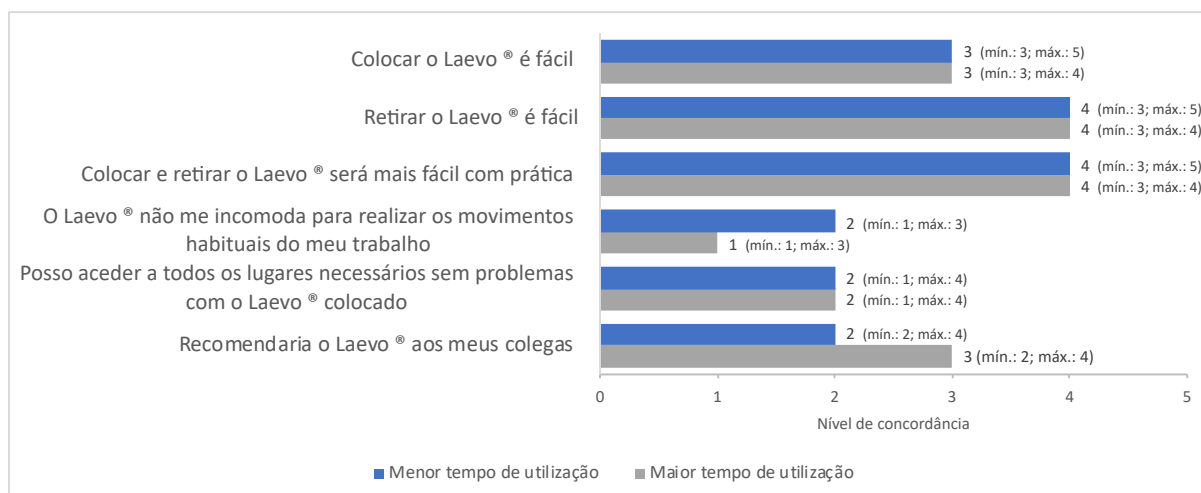
frequente com a utilização do exoesqueleto, sendo que nenhum participante mencionou nunca sentir desconforto ou sentir apenas ocasionalmente.

**Tabela 10:** Frequência do desconforto global percebido (mediana, mínimo e máximo) com a utilização do exoesqueleto nos dois tempos testados.

	Menor tempo de utilização	Maior tempo de utilização
<b>Mediana</b>	4	4
<b>Mínimo</b>	3	3
<b>Máximo</b>	5	5

Mediante os resultados encontrados existe a necessidade, por parte do fabricante de melhorar o *design* do exoesqueleto e sobretudo melhorar o conforto dos locais de contacto do equipamento com corpo humano.

Relativamente à penúltima etapa do questionário do teste psicofísico, referente à usabilidade do equipamento, apresentam-se os resultados na Figura 31. À semelhança da etapa avaliação geral do exoesqueleto, também se utilizou uma escala de 1 a 5, com a mesma categorização.



**Figura 31:** Representação gráfica da mediana (e respetivos mínimos e máximos) das pontuações psicofísicas dos participantes relativamente à usabilidade do exoesqueleto nos dois tempos de utilização testados.

Importa clarificar que uma pontuação elevada às diversas questões traduz-se num aspeto positivo relativamente à usabilidade do equipamento. Posto isto, com o aumento do tempo de utilização, verifica-se um aumento na percepção da usabilidade do exoesqueleto na questão “recomendaria o Laevo® aos meus colegas”. Antagonicamente, verifica-se uma diminuição

na percepção da usabilidade do equipamento, com o aumento do tempo de utilização, na questão “O Laevo® não me incomoda para realizar os movimentos habituais do meu trabalho”. Todas as outras questões, apresentam o mesmo valor mediano em ambos os tempos de utilização testados.

No cômputo geral, verifica-se que os participantes concordam que é fácil retirar o exoesqueleto, mantêm-se neutros quanto a ser fácil colocar o exoesqueleto e concordam que com a prática seria mais fácil colocar e retirar o exoesqueleto. Verifica-se também que os participantes, de uma maneira geral consideram que o exoesqueleto os incomoda a realizar as tarefas habituais do seu posto de trabalho e que têm dificuldades em aceder a todos os lugares do seu posto de trabalho com a utilização do mesmo. A recomendação do equipamento a um colega mantém-se na faixa do discordo e neutro.

Na generalidade das respostas, verifica-se que os participantes, pela sua experiência, consideram má a utilidade do equipamento, pelo menos nos seus postos de trabalho. Estes resultados, não se encontram de acordo com os inferidos por Graham *et al.* (2009), que mostram que 8 em 10 participantes usariam o exoesqueleto PLAD todos os dias. Vários fatores podem influenciar a percepção da usabilidade do exoesqueleto, como por exemplo o desconforto ou por exemplo a resistência à mudança.

Por fim, relativamente à última etapa do questionário, que permitia aos participantes adicionarem um comentário livre, apenas três dos sete participantes adicionaram um comentário, todos eles no maior tempo de utilização. Um dos participantes mencionou que o exoesqueleto não é útil para o seu posto de trabalho por se tratar de um posto de trabalho bastante movimentado (que implica andar frequentemente). Acrescenta ainda que se tivesse apenas de realizar a tarefa de paletização que o equipamento seria bastante útil. Um outro participante mencionou sentir melhorias na carga exercida sobre a zona lombar, apesar de sentir muito desconforto nos ombros. Acrescentou ainda que por vezes teria de fazer um esforço adicional para fletir as costas para ângulos de flexão para os quais o equipamento não estava configurado. Por fim, um outro participante mencionou que quando teria de inspecionar peças de maiores dimensões o exoesqueleto batia constantemente na mesa de inspeção, o que lhe obrigava a forçar mais os braços para realizar a tarefa.

Assim, mediante os resultados e a análise exploratória dos mesmos, apesar do exoesqueleto fornecer suporte lombar, estes apontam para que a utilização do exoesqueleto interfere na

realização de determinadas tarefas industriais. Mais ainda, os resultados defendem que o exoesqueleto não diminuiu o esforço percebido durante tarefas industriais e que o exoesqueleto causa algum desconforto nos seus utilizadores.

### 4.3 Resultados da avaliação postural

A recolha de dados para o estudo de avaliação postural decorreu na empresa em estudo. Essa recolha aconteceu entre abril e julho de 2019. A recolha de dados compreendeu duas condições distintas, sem exoesqueleto e com exoesqueleto em três tarefas distintas.

#### 4.3.1 Caracterização da amostra

A amostra deste estudo de avaliação postural é constituída por 8 colaboradores (5 homens e 3 mulheres) sem historial de problemas musculoesqueléticos. Dos quais 1 é referente à tarefa 1 (tarefa de paletização), 2 referentes à tarefa 2 (tarefa de ajustamento de ripas de madeira) e 5 referentes à tarefa 3 (inspeção visual de peças). Na Tabela 11 apresentam-se as médias de idades, pesos e alturas dos 8 participantes, apesar dos testes terem sido segmentados por tarefa.

**Tabela 11:** Caracterização da amostra do estudo de avaliação postural ( $n = 8$ ).

Variáveis	Média	Desvio padrão
Idade (anos)	29,00	9,33
Alturas (m)	1,75	0,11
Peso (Kg)	76,00	12,59

Como demonstrado na Tabela 11, a idade média da amostra é de 29,00 ( $\pm 9,33$ ) anos, variando entre 22 e 51 anos. As alturas variam entre 1,63m e 1,97m, sendo a altura média de 1,75 ( $\pm 0,11$ ) m. Quanto ao peso médio da amostra é de 76,00 ( $\pm 12,59$ ) Kg, variando entre 50 e 90 Kg. Como foi evidenciado na metodologia deste estudo (em 3.3.6), os resultados são referentes a duas condições distintas: sem exoesqueleto e com exoesqueleto. Para tal, avaliaram-se três tarefas distintas, cujos resultados são apresentados de forma independente.

#### 4.3.2 Estudo comparativo da avaliação postural entre as condições sem e com exoesqueleto

Para um melhor entendimento das tabelas que se seguem, apresentam-se alguns esclarecimentos. A pontuação A inclui as pontuações referentes ao tronco, pescoço e pernas, com acréscimo da pontuação relacionada com a força aplicada. A pontuação pode tomar valores entre 1 e 12. A pontuação B integra as pontuações referentes ao braço, antebraço e punho, com acréscimo da pontuação relativa ao tipo de ligação entre o participante e o objeto que manipula. De forma semelhante à pontuação A, também a pontuação B pode tomar valores entre 1 e 12. A pontuação C consiste na integração das duas anteriores (A e B), com o acréscimo da pontuação da atividade. Deste modo, a pontuação C pode atingir um valor máximo de 15 valores. A pontuação média de pontuações REBA (REBA média) que está contemplada nas várias tabelas que se seguem, consiste num valor médio ponderado das pontuações “REBA final” obtidas para as várias imagens ilustrativas das posturas da amostra avaliadas para cada posto de trabalho. Posto isto, apresenta-se a Tabela 12 referente aos resultados de avaliação postural da Tarefa 1 (tarefa de paletização) em ambas as condições testadas.

**Tabela 12:** Resultados de avaliação postural para a tarefa 1 nas duas condições avaliadas

Condição	Tarefa	Nº de trabalhadores	A		B		C		REBA média	Nível de ação	Nível de risco
			Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.			
Sem exoesqueleto	Paletização	1	5	5	7	7	9	9	9	3	alto
Com Exoesqueleto			6	6	7	7	10	10	10	3	alto

Como é evidenciado pela Tabela 12 referente à Tarefa 1 avaliada, pode-se verificar que o nível de risco de LMERT é alto para ambas as condições avaliadas. Este resultado demonstra não existirem diferenças posturais entre as condições avaliadas. Ainda assim, importa mencionar que a média das pontuações REBA é superior para a condição com exoesqueleto comparativamente à condição sem exoesqueleto. Aliás, a média das pontuações REBA de 10 pontos da condição com exoesqueleto é o valor limite superior do risco alto, ou seja, esta condição tem um nível de risco muito próximo do muito alto.

O nível de risco obtido para a condição sem exoesqueleto, deve-se, por um lado, ao facto de o tronco apresentar uma flexão de 55º com inclinação lateral e ao facto de apenas uma perna

estar apoiada, agravando a pontuação A e o braço apresentar uma flexão de cerca de 69º com abdução, o pulso apresentar uma extensão de 32º e a pega ser aceitável, o que agrava a pontuação B. A pontuação C, é agravada pela ação repetida da tarefa. Por forma a uma melhor visualização da situação referida, segue-se uma ilustração da mesma, na Figura 32, onde se evidenciam os ângulos corporais dos segmentos corporais avaliados no método REBA.



**Figura 32:** Ilustração da postura avaliada na condição sem exoesqueleto para a Tarefa 1.

Relativamente ao nível de risco obtido para a condição com exoesqueleto, a pontuação A é agravada pelo facto de o pescoço apresentar uma flexão de 23º, o tronco uma flexão de 55º com inclinação lateral e apenas uma perna estar apoiada. Já a pontuação B, é agravada pelo facto de o braço apresentar uma flexão de 85º com abdução, o pulso apresentar uma extensão de 42º e a pega ser aceitável apesar de não ser ideal. De igual forma à condição sem exoesqueleto, a pontuação C é agravada pela ação repetida da tarefa. A Figura 33 ilustra a situação descrita.



**Figura 33:** Ilustração da postura avaliada na condição com exoesqueleto para a Tarefa 1.

Posto isto, verifica-se que a diferença postural entre as duas condições incide no facto de flexão do pescoço, na condição com exoesqueleto, ser superior a 20º, o que acarreta uma

pontuação mais gravosa para este segmento corporal, evidenciando assim uma pontuação mais elevada para o grupo A, traduzindo-se, por isso, numa maior média das pontuações REBA, comparativamente à condição sem exoesqueleto. Posto isto, verifica-se que quanto ao nível de risco de acordo com o método REBA, o exoesqueleto não diminuiu o risco de LMERT global.

Relativamente à tarefa 2 (tarefa de ajustamento de ripas de madeira), cuja amostra é constituída por dois participantes, apresenta-se na Tabela 13 os resultados obtidos para a avaliação postural nas duas condições testadas.

**Tabela 13:** Resultados de avaliação postural para a tarefa 2 nas duas condições avaliadas

Condição	Tarefa	Nº de trabalhadores	A		B		C		REBA média	Nível de ação	Nível de risco
			Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.			
<b>Sem exoesqueleto</b>	Ajustamento	2	4	5	3	5	4	6	5	2	médio
<b>Com Exoesqueleto</b>	de ripas de madeira		3	5	5	6	4	5	4,5	2	médio

Na tarefa 2, através da interpretação dos valores mínimos e máximos, apresentados na Tabela 13, para cada um dos grupos aplicáveis no método REBA, e partindo do pressuposto que uma pontuação mais elevada evidencia um maior desvio relativo à posição neutral (Hignett & McAtamney, 2000), verifica-se que o mínimo para o grupo A é mais baixo na condição com exoesqueleto. Isto poderá ser um indício de uma melhoria postural relativa ao pescoço, tronco e membro inferior. Quanto ao máximo, para este grupo, não se verificam diferenças de pontuação. Para o grupo B, relativo ao membro superior, verifica-se um aumento tanto do valor mínimo, quanto do valor máximo na condição com exoesqueleto, comparativamente à condição sem exoesqueleto. Estes resultados parecem demonstrar que a postura do membro superior tende a apresentar um maior desvio em relação à posição neutral. Este resultado, poderá demonstrar a existência de posturas mais incorretas do membro superior em prol das melhorias verificadas na postura do pescoço, tronco e membro inferior. A título de exemplo, evidencia-se na Figura 34 a realização tarefa, por um dos participantes, com e sem exoesqueleto onde se evidencia os ângulos entre os segmentos corporais.



**Figura 34:** Exemplo ilustrativo da postura avaliada para a Tarefa 2 nas duas condições: (a.) sem exoesqueleto; (b.) com exoesqueleto.

Na integração destes dois grupos, na pontuação C, verifica-se uma manutenção dos valores mínimos para ambas as condições, e uma diminuição do valor máximo na condição com exoesqueleto. Desta forma, o valor da média das pontuações REBA é inferior na condição com exoesqueleto. Contudo, o nível de risco para ambas as condições mantém-se igual, não evidenciando, no cômputo geral, uma melhoria postural na utilização do exoesqueleto.

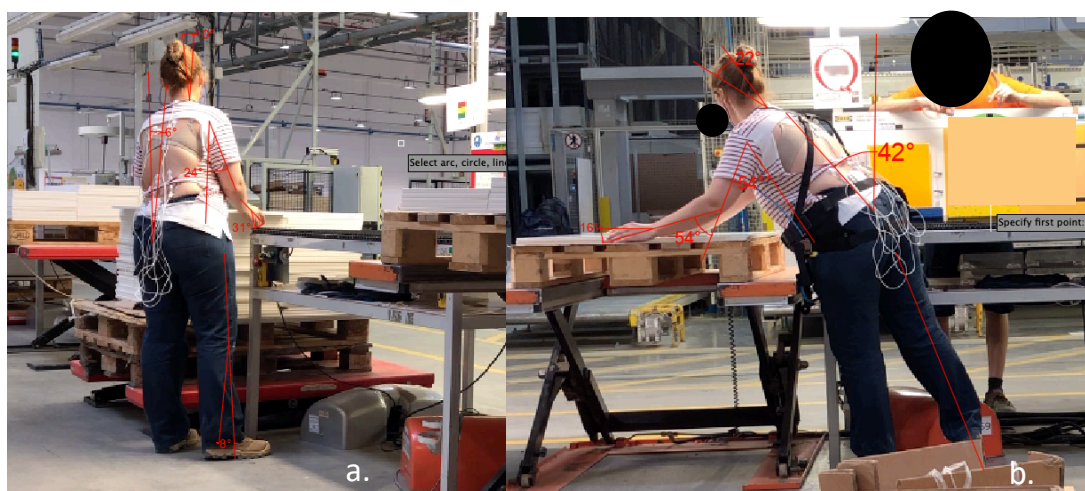
Quanto à tarefa 3 (inspeção visual de peças), cuja amostra é composta por 5 participantes, apresentam-se na Tabela 14 os resultados obtidos em ambas as condições avaliadas, evidenciando os resultados para cada um dos elementos nas quais a tarefa foi dividida.

Os elementos 1 e 2 do ciclo de trabalho avaliado, não apresentam alterações no nível de risco na comparação com as duas condições avaliadas. Quanto ao elemento 3, verifica-se que com a utilização do exoesqueleto o nível de risco aumenta para alto. Relativamente aos valores médios das pontuações REBA, verifica-se uma ligeira diminuição na pontuação na condição com exoesqueleto para a etapa 1. As outras duas etapas evidenciam um aumento da desta pontuação para a mesma condição, comparativamente à condição sem exoesqueleto.

**Tabela 14:** Resultados de avaliação postural para a Tarefa 1 nas duas condições avaliadas.

Condição	Tarefa	Elemento	Nº de trabalhadores	A		B		C		REBA média	Nível de ação	Nível de risco
				Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.			
Sem exoesqueleto	Inspeção visual	1	5	3	5	3	8	4	9	6	2	médio
Com Exoesqueleto				2	4	3	8	4	9	5,8	2	médio
Sem exoesqueleto		2	5	3	5	2	5	4	7	5,2	2	médio
Com Exoesqueleto				3	6	3	5	4	8	6,2	2	médio
Sem exoesqueleto		3	5	3	6	3	8	4	9	6,4	2	médio
Com Exoesqueleto				4	7	5	8	7	11	8,2	3	alto

Com relação aos valores máximos e mínimos, apenas para o grupo A do elemento 1, se verifica uma diminuição destes valores na condição com exoesqueleto. Em todos os outros grupos deste elemento e dos outros dois elementos verifica-se o aumento ou manutenção dos valores mínimos e máximos na condição com exoesqueleto em comparação com a condição sem exoesqueleto. Uma vez que com a utilização do exoesqueleto se verifica aumento do nível risco de LMERT para o elemento 3 da tarefa, apresenta-se na Figura 35 a realização da tarefa, por um dos participantes, com e sem exoesqueleto onde se evidencia os ângulos entre os segmentos corporais.



**Figura 35:** Exemplo ilustrativo da postura avaliada para o elemento 3 da Tarefa 3 nas duas condições: (a.) sem exoesqueleto; (b.) com exoesqueleto.



Posto isto, para esta tarefa, verifica-se que a utilização do exoesqueleto neste posto de trabalho mantém ou aumenta o nível de risco de LMERT.

Tal como evidenciado por Dahmen & Hefferle (2018), não existem evidências científicas que mostrem o impacto dos exoesqueletos no risco ergonómico do posto de trabalho, sendo que a maior parte dos estudos foca-se no efeitos dos exoesqueletos em apenas determinados grupos musculares. Assim, os resultados descritos para as três tarefas avaliadas, apresentam novas evidências relativas à integração de um exoesqueleto na avaliação de risco ergonómico de um local de trabalho. Neste estudo, verifica-se que existe maioritariamente uma manutenção do nível de risco em ambas as condições avaliadas.

Contudo, importa realçar que estes resultados não inviabilizam completamente a implementação do exoesqueleto nos locais de trabalho, pois um não agravamento do nível de risco de LMERT verificado em algumas tarefas, capacita o exoesqueleto no caso deste apresentar outras benesses específicas, como por exemplo o aumento do suporte lombar em tarefas de flexão de tronco. Pois, embora alguns estudos relatem desvantagens potenciais de exoesqueletos, pode-se presumir que as vantagens podem superar as desvantagens (de Looze et al., 2016). Os resultados de avaliação postural de cada um dos participantes neste teste, em ambas as condições encontram-se no Anexo VII.

#### **4.4 Resultados do estudo eletromiográfico**

##### **4.4.1 Caracterização da amostra**

A amostra deste teste de avaliação da atividade muscular é constituída por 5 colaboradores (2 homens e 3 mulheres) sem historial de problemas musculoesqueléticos. Como evidenciado no ponto 3.4.4 da presente dissertação, só se avaliou a tarefa 3 (inspeção visual de peças) neste estudo. Relativamente à idade, altura e peso da amostra apresenta-se essa informação resumida na Tabela 15.

Como demonstrado na referida tabela, a idade média da amostra é de 29,00 ( $\pm 7,68$ ) anos, variando entre 22 e 45 anos. As alturas variam entre 1,63m e 1,97m, sendo a altura média de 1,65 ( $\pm 0,11$ ) m. Quanto ao peso médio da amostra é de 76,00 ( $\pm 14,64$ ) Kg, variando entre 50 e 90 Kg. Como foi evidenciado na metodologia deste estudo (em 3.3.6.1), os resultados para

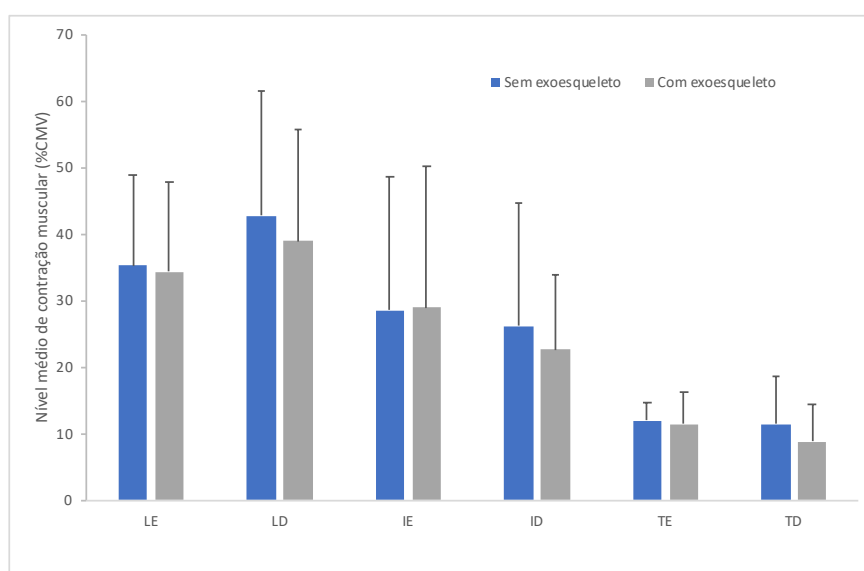
este estudo, são referentes a duas condições distintas: sem exoesqueleto e com exoesqueleto.

**Tabela 15:** Caracterização da amostra do estudo eletromiográfico ( $n = 5$ ).

Variáveis	Média	Desvio padrão
Idade (anos)	29,00	7,68
Alturas (m)	1,65	0,13
Peso (Kg)	76,00	14,64

#### 4.4.2 Estudo comparativo da sobrecarga musculoesquelética entre as condições sem e com exoesqueleto

Mediante os objetivos estipulados para o presente estudo, construiu-se um gráfico de barras de maneira a comparar a atividade muscular dos músculos longíssimo eretor da coluna, iliocostal eretor da coluna e trapézio inferior esquerdo e direito, nas duas condições testadas: com e sem exoesqueleto. Desta maneira, apresenta-se na Figura 36 o gráfico referente à atividade muscular dos músculos referidos nas duas condições testadas. Este contempla a representação dos valores médios referentes à percentagem de contração muscular média ao longo da tarefa testada (expressa em % de CMV da APDF), dos cinco participantes.



**Figura 36:** Representação gráfica da média do nível médio de contração muscular (%CMV) para os músculos longíssimo eretor da coluna esquerdo (LE), longíssimo eretor da coluna direito (LI), iliocostal eretor da coluna esquerdo (IE), iliocostal eretor da coluna (ID), trapézio inferior esquerdo (TE) e trapézio inferior direito (TE) sem (azul) e com (cinza) exoesqueleto. As barras de erro indicam o desvio padrão.

Através da interpretação do gráfico verifica-se que a condição com exoesqueleto apresenta uma diminuição, apesar de não estatisticamente significativa, da atividade muscular média, comparativamente à condição sem exoesqueleto, de 0,8% para o LE, 3,8% para o LD, 3,6% para o ID, 0,6% para o TE e de 2,6% para o TD. O IE, apresenta um aumento da 0,4%.

Estes resultados encontram-se bastante abaixo dos estudos realizados no âmbito da avaliação ocupacional de exoesqueletos de suporte lombar. Por exemplo, no estudo de Bosch *et al.* (2016), numa tarefa de montagem em contexto laboratorial ( $n = 18$ ), com uma versão anterior do exoesqueleto Laevo<sup>®</sup> utilizado neste trabalho, é evidenciada uma redução de 38% para o longíssimo eretor da coluna, de 35% para o iliocostal eretor da coluna e de 44% para o trapézio inferior. Num outro estudo, desenvolvido por Graham *et al.*, (2009) numa tarefa de montagem em contexto real, com o exoesqueleto PLAD é reportada uma redução de 37% e 14% do eretor da coluna ao nível lombar e torácico respetivamente.

Desta forma, uma possível explicação para as diferenças encontradas nos resultados deste estudo comparativamente aos estudos referenciados poderá ser o facto de as tarefas avaliadas nos estudos referenciados serem de movimentos restritos. Isto é, ambas eram tarefas de montagem onde o tronco se encontrava com uma determinada flexão durante a tarefa, não salvaguardando a alternância postural entre flexões e extensões, bem como inclinações da coluna tão frequentes como na tarefa testada durante o presente trabalho.

Adicionalmente, pode-se ainda verificar que, nos resultados deste estudo, existe uma maior redução da atividade muscular dos músculos do lado direito do corpo comparativamente aos músculos do lado esquerdo. Como foi evidenciado na descrição da tarefa testada, ela ocorria da direita para a esquerda. Isto é, os participantes retiravam a peça da paleta à sua direita (praticamente sem inclinarem o tronco), inspecionavam-na no centro e depois colocavam-na numa paleta à sua esquerda (onde ocorria frequentemente a inclinação lateral do tronco). Durante estes movimentos, era muito frequente a inclinação do tronco para a esquerda. E uma vez que uma das funções dos músculos eretores da coluna também é permitir a inclinação lateral (“SENIAM,” n.d.), e como esta ocorria maioritariamente para a esquerda é natural encontrar uma maior redução da atividade muscular dos músculos do lado direito.

Esta evidência, aponta para que o exoesqueleto testado apresente uma utilidade muito reduzida, talvez para tarefas mais específicas e restritas quanto à variação postural. Parece

que não poderá ser disseminado indiscriminadamente por todos os postos de trabalho onde exista a flexão frontal do tronco.

Outro resultado que evidenciado é que, pelo menos nesta tarefa o exoesqueleto não é suficiente para reduzir acentuadamente a fadiga ou o cansaço muscular. Isto é, segundo Jonsson (1982) sempre que o nível médio de contração muscular obtido para um determinado músculo através da APDF exceder os 10% da CMV este encontra-se em cansaço e quando exceder 14% encontra-se em fadiga. Posto isto, evidenciam-se na Tabela 16 o estado (normal, cansaço ou fadiga) dos músculos estudados nas duas condições.

**Tabela 16:** Estado da carga (Fadiga, cansaço, normal) dos músculos avaliados em ambas as condições testadas. Entre parênteses encontra-se o nível médio de contração muscular (%CMV).

Músculo	Condição	
	Sem exoesqueleto	Com exoesqueleto
LE	Fadiga (35,2%)	Fadiga (34,4%)
LD	Fadiga (42,8%)	Fadiga (39%)
IE	Fadiga (28,6%)	Fadiga (29%)
ID	Fadiga (26,2%)	Fadiga (22,6%)
TE	Cansaço (12%)	Cansaço (11,4%)
TD	Cansaço (11,4%)	Normal (8,8%)

Pela interpretação da tabela, verifica-se que existe a manutenção do estado de sobrecarga muscular em ambas as condições, com exceção do trapézio inferior direito, em que na condição com exoesqueleto, a carga muscular diminuiu. Neste caso específico, mantém-se também o estado de fadiga ou cansaço na condição com exoesqueleto. Estes resultados não eram expectáveis, uma vez que os estudos anteriores sobre exoesqueletos ocupacionais, evidenciam a diminuição da atividade muscular.

## **5. CONCLUSÕES E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS**

### **5.1 Contextualização do capítulo**

Neste capítulo evidenciam-se as principais conclusões deste estudo. Adicionalmente apresentam-se também as limitações e propostas de trabalho futuro para estudos no âmbito do estudo desenvolvido na presente dissertação.

### **5.2 Principais conclusões**

Nos dias de hoje, o tópico dos exoesqueletos ocupacionais tem vindo a receber uma considerável atenção. No entanto, apesar do seu aparente potencial promissor, a ampla utilização dos exoesqueletos no contexto industrial deve ser questionada. Pois existe a necessidade de compreender os efeitos da utilização destes equipamentos sobre a saúde dos trabalhadores, em particular nos parâmetros fisiológicos, psicofísicos e biomecânicos.

Nesse âmbito, este estudo pretendia avaliar, em contexto real, a influência da utilização de um exoesqueleto passivo de suporte lombar. Com isto em mente, e como já foi mencionado, este trabalho contemplou a recolha de dados através de três estudos analítico-experimentais, designadamente: estudo psicofísico, estudo de avaliação postural e estudo eletromiográfico. Durante a realização de tarefas industriais que incluíam a flexão frequente do tronco, envolvendo a participação de trabalhadores de uma indústria que se dedica à fabricação de mobiliário em Portugal.

Os dados psicofísicos, mostram que os trabalhadores envolvidos neste estudo consideram que o exoesqueleto reduz a força realizada nas costas, contudo consideram que o equipamento reduz a liberdade de movimentos e interfere com a realização das tarefas industriais testadas. Relativamente à interferência nas tarefas, esta tendência parece vir a reverter-se com o aumento do tempo de utilização do exoesqueleto, talvez, devido ao efeito da habituação ao equipamento. Adicionalmente, estes dados também apontam para um aumento do esforço global percebido com a utilização do exoesqueleto, comparativamente à realização da tarefa sem a utilização do exoesqueleto. Em termos de desconforto, os trabalhadores indicam sentir desconforto no pescoço e ombros, causado pelas cintas do exoesqueleto, na coxas e ancas, causadas pelo suporte das pernas do exoesqueleto, e na região torácica, causada pela estrutura metálica de suporte do equipamento nessa zona. Nestas regiões corporais o

desconforto tende a aumentar com o tempo de utilização. O número de trabalhadores que sente desconforto na região lombar tende a diminuir com o aumento do tempo de utilização. Mesmo assim, aconselha-se a reformulação destas partes do equipamento pelo seu fabricante, de modo a diminuir o desconforto percebido pelos seus utilizadores.

No que concerne à avaliação postural, esta demonstrou, de uma maneira geral, uma manutenção do risco de LMERT nas tarefas testadas. Porém, verifica-se que a média da pontuação REBA para a tarefa de ajustamento de ripas de madeira (tarefa 2) e para o elemento 1 da tarefa de inspeção visual (tarefa 3) é inferior para a condição com exoesqueleto, comparativamente à condição sem exoesqueleto. Nestas duas situações, a diversidade de movimentos é mais reduzida. Posto isto, estes resultados apontam para um maior benefício da utilização do exoesqueleto em tarefas industriais mais restritas, principalmente, se envolverem apenas movimentação do tronco segundo o plano sagital. Quanto aos dados eletromiográficos, estes apontam, de uma maneira geral, que a utilização do exoesqueleto acarreta uma diminuição da atividade muscular na ordem dos 0,8% a 3,6% dos músculos das costas em comparação com a não utilização do exoesqueleto, apesar de não ser estaticamente significativo. Contudo, esta redução em termos de sobrecarga musculoesquelética não parece ser relevante, uma vez que se verifica a manutenção da fadiga ou cansaço nos músculos estudados em ambas as condições testadas, não se verificando uma influência significativamente positiva do exoesqueleto na diminuição da sobrecarga musculoesquelética dos músculos dorsais estudados. Contudo, as tarefas testadas envolviam alguma variabilidade postural o que pode ter influenciado estes resultados.

Globalmente, os resultados obtidos ao longo deste trabalho apontam que a utilização do exoesqueleto nas tarefas industriais testadas não diminui significativamente os fatores de risco de LMERT. Contudo, importa salientar, que de uma maneira geral, também não aumenta esses mesmos fatores. O equipamento parece ser particularmente incómodo para a utilização durante o todo o turno de trabalho. Sendo que, poderá ser útil apenas para tarefas mais restritas, onde exista apenas a flexão do tronco. Assim, o exoesqueleto, parece não ser particularmente útil nas tarefas industriais testadas, uma vez que existe a alternância de posturas em ciclos curtos e para algumas dessas posturas o exoesqueleto não só é um peso adicional para o trabalhador, como inclusivamente gera a necessidade deste gerar um esforço adicional para poder realizar determinado movimento, e ainda interferindo na realização das

tarefas devido ao contacto/choque das hastes do equipamento com os locais que requerem proximidade. Desta forma, globalmente os resultados demonstram que o uso do exoesqueleto tem de ser criteriosamente pensado e que este poderá positivo na redução de risco de LMERT em tarefas com flexão contínua e/ou repetido do tronco, mas com reduzida variabilidade entre outras posturas (como rotação e inclinação lateral do tronco).

Por fim, resta salientar que a presente dissertação apresenta um carácter inovador, uma vez que realiza uma avaliação a um exoesqueleto em contexto real. Apesar da amostra reduzida, este trabalho pode constituir um ponto de partida para estudos futuros neste campo de investigação, considerando que contribuiu com o desenvolvimento de protocolos de recolha e processamento de dados de diferente natureza que poderão servir de base a outras investigações que pretendam avaliar os efeitos de um exoesqueleto passivo em contextos reais de trabalho.

### **5.3 Perspetivas de trabalho futuro**

No decorrer do desenvolvimento deste trabalho ocorreram diversas adversidades que contribuíram para que este apresentasse algumas limitações. Partindo dessas limitações e com base nas evidências encontradas, considera-se que o tema central da presente dissertação continua a necessitar de mais estudos. Partindo deste pressuposto, apontam-se as seguintes propostas de trabalho futuro:

1. Replicar os estudos analítico-experimentais noutras tarefas industriais, tentando aumentar o tamanho das amostras (por exemplo, reunir com a gestão de topo de forma a permitir a paragem do processo produtivo for forma aos trabalhadores se sentirem mais disponíveis para a realização dos testes);
2. Desenvolver estudos fisiológicos de modo a compreender melhor mecanismos fisiológicos inerentes à utilização ocupacional de exoesqueletos (como medição da frequência cardíaca);
3. Aumentar o número de músculos estudados no estudo eletromiográfico de forma a compreender o efeito do exoesqueleto em outros músculos que não aqueles para os quais foi desenvolvido (como exemplo, os músculos abdominais ou músculos dos membros inferiores);

4. Aplicar outros métodos de avaliação postural mais avançados, como por exemplo a análise cinemática.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abdoli-E, M., Agnew, M. J., & Stevenson, J. M. (2006). An on-body personal lift augmentation device (PLAD) reduces EMG amplitude of erector spinae during lifting tasks. *Clinical Biomechanics*, 21(5), 456–465. <https://doi.org/10.1016/j.clinbiomech.2005.12.021>
- Alabdulkarim, S., Kim, S., & Nussbaum, M. A. (2019). Effects of exoskeleton design and precision requirements on physical demands and quality in a simulated overhead drilling task. *Applied Ergonomics*, 80(August 2018), 136–145. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2019.05.014>
- Asadi, H., Yu, D., & Mott, J. H. (2019). Risk factors for musculoskeletal injuries in airline maintenance, repair & overhaul. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 70(January), 107–115. <https://doi.org/10.1016/j.ergon.2019.01.008>
- ASTM. (2019). Committee F48 on Exoskeletons and Exosuits. Retrieved from <https://www.astm.org/COMMIT/SCOPES/F48.htm>
- Ayoub, M. M., & Dempsey, P. G. (1999). The psychophysical approach to manual materials handling task design. *Ergonomics*, 42(1), 17–31. <https://doi.org/10.1080/001401399185775>
- Barreiro, M., Gosta, L. G., & Carneiro, P. (2012). *Lesões Músculos-esqueléticas em Contexto Hospitalar*. (A. Autoridade para as Condições do Trabalho, Ed.). Lisboa.
- Beeck, R., & Hermans, V. (2000). *Research on work-related low back disorders*. Luxembourg: European Agency for Safety and Health at Work Research. [https://doi.org/10.1016/0037-7856\(71\)90009-6](https://doi.org/10.1016/0037-7856(71)90009-6)
- BiosignalsPlux. (2018). User manual: Biosignak acquisition tool-kit for advanced research applications.
- Borg, G. (1990). Psychophysical scaling with applications in physical work and the perception of exertion. *Scandinavian Journal of Work, Environment and Health*, 16(SUPPL. 1), 55–58. <https://doi.org/10.5271/sjweh.1815>
- Bosch, T., van Eck, J., Knitel, K., & de Looze, M. (2016). The effects of a passive exoskeleton on muscle activity, discomfort and endurance time in forward bending work. *Applied Ergonomics*, 54, 212–217. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2015.12.003>
- Burton, A., & Erg, E. (1997). Back injury and work loss. Biomechanical and psychosocial influences. *Spine*, 2575–2580.
- Butler, H. L., Hubley-Kozey, C. L., & Kozey, J. W. (2009). Electromyographic assessment of trunk muscle activation amplitudes during a simulated lifting task using pattern recognition techniques. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 19(6), e505–e512. <https://doi.org/10.1016/j.jelekin.2008.09.010>
- Carnide, F., Veloso, A., Lourenço, A., Fred, A., & Gamboa, H. (2012). Determination of the Minimum Acquisition Time for Obtaining Muscular Load Profile By Apdf Function. *Journal of Biomechanics*, 45(1), S505. [https://doi.org/10.1016/s0021-9290\(12\)70506-7](https://doi.org/10.1016/s0021-9290(12)70506-7)
- Celik, S., Celik, K., Dirimese, E., Taşdemir, N., Arik, T., & Büyükkara, İ. (2017). Determination of pain in musculoskeletal system reported by office workers and the pain risk factors. *International Journal of Occupational Medicine and Environmental Health*, 31(1), 91–111. <https://doi.org/10.13075/ijomeh.1896.00901>
- Colim, A. (2017). *A obesidade como fator de risco musculoesquelético na manipulação vertical de cargas*. Universidade do Minho.
- Colim, A., Arezes, P., Flores, P., & Braga, A. C. (2019). Effects of workers' BMI and tasks conditions on exertion psychophysics during vertical handling tasks. *Work: A Journal of*

- Prevention, Assessment and Rehabilitation*, 62 (3), 231–241.  
<https://doi.org/10.3233/WOR-192923>
- Dahmen, C., & Hefferle, M. (2018). Application of Ergonomic Assessment Methods on an Exoskeleton Centered Workplace Christian. *Proceedings of the The XXXth Annual Occupational Ergonomics and Safety Conference*.
- Daugherty, J. E. (1998). *Industrial Safety Management: A Practical Approach*. (Government Institutes, Ed.). Rockville, USA.
- David, G. C. (2005). Ergonomic methods for assessing exposure to risk factors for work-related musculoskeletal disorders. *Occupational Medicine*, 55(3), 190–199.  
<https://doi.org/10.1093/occmed/kqi082>
- de Looze, M. P., Bosch, T., Krause, F., Stadler, K. S., & O’Sullivan, L. W. (2016). Exoskeletons for industrial application and their potential effects on physical work load. *Ergonomics*, 59(5), 671–681. <https://doi.org/10.1080/00140139.2015.1081988>
- De Luca, C. J. (1997). The use of surface eletromiography in biomechanics. *Society*, (July 1993), 1–38.
- Diez-olivan, A., Ser, J. Del, Galar, D., & Sierra, B. (2018). Data Fusion and Machine Learning for Industrial Prognosis: Trends and Perspectives towards Industry 4.0. *Information Fusion*.  
<https://doi.org/10.1016/j.inffus.2018.10.005>
- Ekstrom, R. A., Donatelli, R. A., & Soderberg, G. L. (2003). Surface Electromyographic Analysis of Exercises for the Trapezius and Serratus Anterior Muscles. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 33(5), 247–258.
- Elsevier, B. V. (n.d.-a). Science Direct. Retrieved from <https://www.sciencedirect.com>
- Elsevier, B. V. (n.d.-b). Scopus. Retrieved from <https://www.scopus.com/home.uri>
- Eurofound. (2012). *Fifth European Working Conditions Survey*. Luxemburgo. Retrieved from [https://www.eurofound.europa.eu/sites/default/files/ef\\_publication/field\\_ef\\_document/ef1182en.pdf](https://www.eurofound.europa.eu/sites/default/files/ef_publication/field_ef_document/ef1182en.pdf)
- Eurostat. (2010). *Health and safety at work in the GDR. East Central Europe* (Vol. 14). Luxemburgo. <https://doi.org/10.2785/38630>
- Frank, J., Kerr, M., Brooker, A., Demaio, S., Maetzel, A., Shannon, H., ... Wells, R. (1996). Disability resulting from occupational low-back-pain - what do we know about primary prevention -a review of the scientific evidence on prevention before disability begins. *Spine*, 2908–2917.
- Fundação Francisco Manuel dos Santos. (2019). Empresas no sector da indústria transformadora: total e por tipo.
- Ghaderi, F., Banakar, S., & Rostami, S. (2013). Effect of pre-cooling injection site on pain perception in pediatric dentistry: “A randomized clinical trial.” *Dental Research Journal*, 10(6), 790–794. <https://doi.org/10.4103/1735-3327.122486>
- Graham, R. B., Agnew, M. J., & Stevenson, J. M. (2009). Effectiveness of an on-body lifting aid at reducing low back physical demands during an automotive assembly task : Assessment of EMG response and user acceptability. *Applied Ergonomics*, 40(5), 936–942.  
<https://doi.org/10.1016/j.apergo.2009.01.006>
- Guimarães, L., Anzanello, M., Ribeiro, J., & Saurin, T. (2015). International Journal of Industrial Ergonomics Participatory ergonomics intervention for improving human and production outcomes of a Brazilian furniture company. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 49, 97–107. <https://doi.org/10.1016/j.ergon.2015.02.002>
- Hignett, S., & McAtamney, L. (2000). Rapid Entire Body Assessment (REBA). *Applied Ergonomics*, 31(2), 201–205. [https://doi.org/10.1016/S0003-6870\(99\)00039-3](https://doi.org/10.1016/S0003-6870(99)00039-3)

- Holtermann, A., Clausen, T., Aust, B., Mortensen, O. S., & Andersen, L. L. (2013). Risk for low back pain from different frequencies, load mass and trunk postures of lifting and carrying among female healthcare workers. *International Archives of Occupational and Environmental Health*, 86(4), 463–470. <https://doi.org/10.1007/s00420-012-0781-5>
- Hoogendoorn, W., van Poppel, M., Bongers, P., Koes, B., & Bouter, L. (2000). Systematic review of psychosocial factors at work and private life as risk factors for back pain. *Spine* 2000, 16, 2114–2125.
- Huysamen, K., Bosch, T., de Looze, M., Stadler, K. S., Graf, E., & O’Sullivan, L. W. (2018). Evaluation of a passive exoskeleton for static upper limb activities. *Applied Ergonomics*, 70(December 2017), 148–155. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2018.02.009>
- ISO. (2019). Standards. Retrieved from <https://www.iso.org/standards.html>
- Jonsson, B. (1982). Measurement and evaluation of local muscular strain in the shoulder during constrained work. *Journal of Human Ergology*, 11, 73–88. <https://doi.org/10.1007/BF00302550>
- Kara, D. (2018). Industrial exoskeletons: new systems, improved technologies, increasing adoption. Retrieved from <https://www.therobotreport.com/industrial-exoskeletons/>
- Karatayev, A. Y., Burlakova, L. E., Miller, T. D., & Perrelli, M. F. (2018). Reconstructing historical range and population size of an endangered mollusc: long-term decline of *Popenaias poppeii* in the Rio Grande, Texas. *Hydrobiologia*, 810(1), 333–349. <https://doi.org/10.1007/s10750-015-2551-3>
- Kim, P., Hayden, J. A., & Mior, S. A. (2004). The cost-effectiveness of a back education program for firefighters: a case study. *The Journal of the Canadian Chiropractic Association*, 48(1), 13–19. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17549215> <http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=PMC1840037>
- Kim, S., Nussbaum, M. A., Mokhlespour Esfahani, M. I., Alemi, M. M., Jia, B., & Rashedi, E. (2018). Assessing the influence of a passive, upper extremity exoskeletal vest for tasks requiring arm elevation: Part II – “Unexpected” effects on shoulder motion, balance, and spine loading. *Applied Ergonomics*, 70(September 2017), 323–330. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2018.02.024>
- Koopman, A. S., Kingma, I., Faber, G. S., de Looze, M. P., & van Dieën, J. H. (2019). Effects of a passive exoskeleton on the mechanical loading of the low back in static holding tasks. *Journal of Biomechanics*, 83(xxxx), 97–103. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2018.11.033>
- Krüger, K., Petermann, C., Pilat, C., Schubert, E., Pons-Kühnemann, J., & Mooren, F. C. (2015). Preventive strength training improves working ergonomics during welding. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*, 21(2), 150–157. <https://doi.org/10.1080/10803548.2015.1029290>
- Kumar, S., Narayan, Y., & Bjornsdottir, S. (1999). Comparison of the sensitivity of three psychophysical techniques to three manual materials handling task variables. *Ergonomics*, 42(1), 61–73. <https://doi.org/10.1080/001401399185801>
- Kuorinka, I., Jonsson, B., Kilbom, A., Vinterberg, H., Biering-Sørensen, F., Andersson, G., & Jørgensen, K. (1987). Standardised Nordic questionnaires for the analysis of musculoskeletal symptoms. *Applied Ergonomics*, 18(3), 233–237. [https://doi.org/10.1016/0003-6870\(87\)90010-X](https://doi.org/10.1016/0003-6870(87)90010-X)
- Laevo. (n.d.). Manual do utilizador HL-V.4.5.5-PT.
- Lee, H., Kim, W., Han, J., & Han, C. (2012). The technical trend of the exoskeleton robot system

- for human power assistance. *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing*, 13(8), 1491–1497. <https://doi.org/10.1007/s12541-012-0197-x>
- Likert, R. (1932). A Technique for the Measurement of Attitudes,. In R.S. Woddworth (Ed.), *Archives of Psychology* (pp. 5–55). New york. <https://doi.org/10.4135/9781412961288.n454>
- Lowe, B. D., Billotte, W. G., & Peterson, D. R. (2019). ASTM F48 Formation and Standards for Industrial Exoskeletons and Exosuits. *IIE Transactions on Occupational Ergonomics and Human Factors*, 1–7. <https://doi.org/10.1080/24725838.2019.1579769>
- Mazloum, A., Nozad, H., & Kumashiro, M. (2006). Occupational low back pain among workers in some small-sized factories in Ardabil, Iran. *Industrial Health*, 44(1), 135–139. <https://doi.org/10.2486/indhealth.44.135>
- McAtamney, L., & Nigel Corlett, E. (1993). RULA: a survey method for the investigation of work-related upper limb disorders. *Applied Ergonomics*, 24(2), 91–99. [https://doi.org/10.1016/0003-6870\(93\)90080-S](https://doi.org/10.1016/0003-6870(93)90080-S)
- Miranda, L. C., Carnide, F., & Lopes, M. (2006). Lesões músculo-esqueléticas relacionadas com o trabalho: magnitude do problema a nível nacional. *Direção Geral de Saúde*, (2001), 1–24. Retrieved from [https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:ucpqUrWkl7MJ:https://www.dgs.pt/ficheiros-de-upload-3/pncdr-proj\\_relatorio-lmert-pdf.aspx+&cd=2&hl=pt-PT&ct=clnk&gl=pt](https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:ucpqUrWkl7MJ:https://www.dgs.pt/ficheiros-de-upload-3/pncdr-proj_relatorio-lmert-pdf.aspx+&cd=2&hl=pt-PT&ct=clnk&gl=pt)
- Mirka, G. A., Smith, C., Shivers, C., & Taylor, J. (2002). Ergonomic interventions for the furniture manufacturing industry. Part I - Lift assist devices. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 29(5), 263–273. [https://doi.org/10.1016/S0169-8141\(01\)00067-1](https://doi.org/10.1016/S0169-8141(01)00067-1)
- Moher, D., Liberati, A., Tetzlaff, J. T., & Altman, D. G. (2009). Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses: The PRISMA Statement. *PLoS Medicine*, 6(7), 1–5. <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1000097>
- Moore, J. S., & Garg, A. (1995). The strain index: A proposed method to analyze jobs for risk of distal upper extremity disorders. *American Industrial Hygiene Association Journal*, 56(5), 443–458. <https://doi.org/10.1080/15428119591016863>
- Moyon, A., Poirson, E., & Petiot, J.-F. (2018). Experimental study of the physical impact of a passive exoskeleton on manual sanding operations. *Procedia CIRP*, 70, 284–289. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2018.04.028>
- Näf, M. B., Koopman, A. S., Baltrusch, S., Rodriguez-Guerrero, C., Vanderborght, B., & Lefeber, D. (2018). Passive Back Support Exoskeleton Improves Range of Motion Using Flexible Beams. *Frontiers in Robotics and AI*, 5(June), 1–16. <https://doi.org/10.3389/frobt.2018.00072>
- National Center for Biotechnology Information. (n.d.). PubMed. Retrieved from <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/>
- National Research Council. (1999). *Work-related musculoskeletal disorders: report, workshop summary, and workshop papers*. Washington DC.
- Nejad, N. H., Choobineh, A., Rahimifard, H., Haidari, H. R., & Reza Tabatabaei, S. H. (2013). Musculoskeletal risk assessment in small furniture manufacturing workshops. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*, 19(2), 275–284. <https://doi.org/10.1080/10803548.2013.11076985>
- Netter, F. H. (2011). *Atlas de Anatomia Humana*. (Elsevier Inc, Ed.) (5th ed.).
- NIOSH. (2018). Musculoskeletal Health Program. Retrieved from <https://www.cdc.gov/niosh/programs/msd/default.html>

- NRC, & IOM. (1997). *Musculoskeletal disorders and workplace factors: Low back and upper extremities. for Work-Related Musculoskeletal Disorders of the Neck*. Retrieved from <http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:Musculoskeletal+disorders+and+the+workplace#0>
- Nunes, I. L. (2017). Introduction to musculoskeletal disorders. Retrieved from [https://oshwiki.eu/wiki/Introduction\\_to\\_musculoskeletal\\_disorders#cite\\_note-Eurostat\\_2010-4](https://oshwiki.eu/wiki/Introduction_to_musculoskeletal_disorders#cite_note-Eurostat_2010-4)
- Pons, J. L. (2008). *Wearable Robots: Biomechatronic Exoskeletons*. Madrid: John Willey & Sons, Ltd. <https://doi.org/10.1192/bjp.112.483.211-a>
- Roffey, D. M., Wai, E. K., Bishop, P., Kwon, B. K., & Dagenais, S. (2010). Causal assessment of workplace manual handling or assisting patients and low back pain: results of a systematic review. *Spine Journal*, 10(7), 639–651. <https://doi.org/10.1016/j.spinee.2010.04.028>
- Saunders, M., Lewis, P., & Thornhill, A. (2012). *Research methods for business students*. (Prentice Hall, Ed.) (6th ed.). Pearson Education. <https://doi.org/10.1055/s-2004-813651>
- Schneider, E., & Irastorza, X. (2010). *OSH in figures: Work-related musculoskeletal disorders in the EU-Facts and figures: European Risk Observatory Report*. (European Agency for Safety and Health at Work, Ed.). <https://doi.org/10.2802/10952>
- Schnieders, T. M., & Stone, R. T. (2017). Current Work in the Human-Machine Interface for Ergonomic Intervention with Exoskeletons. *International Journal of Robotics Applications and Technologies*, 5(1), 1–19. <https://doi.org/10.4018/ijrat.2017010101>
- SENIAM. (n.d.). Retrieved from <http://www.seniam.org/>
- Spada, S., Ghibaudo, L., Gilotta, S., Gastaldi, L., & Pia, M. (2017). Investigation into the applicability of a passive upper-limb exoskeleton in automotive industry. *Procedia Manufacturing*, 11(June), 1255–1262. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.07.252>
- Suhardi, B., Astuti, R. D., & Widodo, A. T. (2016). Design of polishing tools for improving work posture in furniture industry. *Proceedings - Joint International Conference on Electric Vehicular Technology and Industrial, Mechanical, Electrical and Chemical Engineering, ICEVT 2015 and IMECE 2015*, 223–228. <https://doi.org/10.1109/ICEVTIMECE.2015.7496678>
- Thetkathuek, A., & Meepradit, P. (2018). Work-related musculoskeletal disorders among workers in an MDF furniture factory in eastern Thailand. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*, 24(2), 207–217. <https://doi.org/10.1080/10803548.2016.1257765>
- Theurel, J., & Desbrosses, K. (2019). Occupational Exoskeletons: Overview of Their Benefits and Limitations in Preventing Work-Related Musculoskeletal Disorders. *IIE Transactions on Occupational Ergonomics and Human Factors*, 0(0), 1–17. <https://doi.org/10.1080/24725838.2019.1638331>
- Ulrey, B. L., & Fathallah, F. A. (2011). Biomechanical Effects of a Personal Weight Transfer Device in the Stooped Posture. *PROCEEDINGS of the HUMAN FACTORS and ERGONOMICS SOCIETY 55th ANNUAL MEETING*, 1052–1056.
- Uva, A., Carnide, F., Serranheira, F., Miranda, L., & Lopes, M. (2008). *Lesões musculoesqueléticas relacionadas com o trabalho: Guia de orientação para a prevenção*. (Direção-Geral de saúde, Ed.). Lisboa.
- Whitfield, B. H., Costigan, P. A., Stevenson, J. M., & Smallman, C. L. (2014). Effect of an on-body ergonomic aid on oxygen consumption during a repetitive lifting task. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 44(1), 39–44.

- <https://doi.org/10.1016/j.ergon.2013.10.002>
- WHO. (2002). The World Health Organization Report 2002: reducing risks, promoting healthy life. *WHO Library Cataloguing-in Publication Data*, 232.
- Xavier, G., Guimarães, J., & Peixoto, M. (2012). *Definição das principais áreas de prioritárias de inovação na indústria do mobiliário de Portugal*.
- Zhang, T., & Huang, H. H. (2018). A Lower-Back Robotic Exoskeleton: Industrial Handling Augmentation Used to Provide Spinal Support. *IEEE Robotics and Automation Magazine*, 25(2), 95–106. <https://doi.org/10.1109/MRA.2018.2815083>
- Zhou, L., & Li, Y. (2016). Design optimization on passive exoskeletons through musculoskeletal model simulation. *2016 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics, ROBIO 2016*, 1159–1164. <https://doi.org/10.1109/ROBIO.2016.7866482>

## ANEXO I – TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO



Universidade do Minho  
Departamento de Produção e Sistemas

### UTILIZAÇÃO DE UM EXOESQUELETO PASSIVO (resposta a questionários, filmagens e EMG)

#### TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO Nº \_\_\_\_\_

**Título do estudo:** A influência da utilização de um exoesqueleto passivo nos fatores de risco de lesões musculoesqueléticas durante tarefas industriais

**Investigador envolvido:** João André Vieira Cardoso (andrecardoso92@gmail.com; 913 485 288)

**Orientador responsável:** Professora Ana Colim (Departamento de Produção e Sistemas, Escola de Engenharia, Universidade do Minho)

**Responsável na empresa:** (NOME) ((DEPARTAMENTO), (NOME DA EMPRESA), (LOCALIZAÇÃO))

**Objetivo central do estudo:** Avaliar o efeito da utilização de um exoesqueleto passivo em tarefas industriais que impliquem a flexão do tronco, relativamente à redução do risco de Lesões Musculoesqueléticas Relacionadas com o Trabalho (LMERT).

**Procedimentos:** Em contexto industrial, realizará as tarefas usuais do seu posto de trabalho utilizando um exoesqueleto passivo do fabricante Laevo ®. A utilização do equipamento terá a duração de três semanas. Durante a primeira semana, utilizará o equipamento durante 30 a 60 minutos por dia e responderá a um questionário diariamente após a sua utilização. Na segunda semana, utilizará o equipamento aumentando gradualmente o tempo de utilização durante a semana e responderá a um questionário no segundo e sexto dia de utilização. Na terceira semana utilizará o equipamento durante todo o turno de trabalho (8 horas) e responderá a um questionário no final da semana.

Durante a realização das referidas tarefas, serão recolhidos dados através de oito questionários com o intuito de avaliar a sua perceção relativamente: ao uso geral do equipamento; à adequabilidade do uso do exoesqueleto à tarefa; ao esforço global com e sem o exoesqueleto; ao desconforto com uso do exoesqueleto; à usabilidade do equipamento. Também serão recolhidos dados através de dois momentos de filmagens que decorrerão antes e durante a utilização do equipamento. Estas filmagens têm como objetivo avaliar a postura corporal antes e durante a utilização do equipamento.

Adicionalmente, serão recolhidos dados através de uma técnica **não invasiva**, nomeadamente: eletromiografia de superfície, que consiste na colocação de pares eléctrodos de superfície que registam os sinais eléctricos emitidos pelos músculos, permitindo medir a atividade muscular durante a realização das tarefas. Estes eléctrodos são constituídos por uma película adesiva que

permite fixá-los na pele. Na zona de colocação dos elétrodo a pele será previamente preparada com corte das pilosidades eventualmente existentes (com lâmina descartável), ligeira exfoliação da pele com lixa fina e passagem de algodão embebido em álcool etílico;

Só serão analisados e publicados os dados obtidos através destas técnicas e a sua **identificação será totalmente sigilosa**. Para a prossecução desta finalidade, a Universidade do Minho, procederá ao tratamento dos seus dados de identificação bem como dos dados resultantes da recolha da sua opinião. Os dados vão ser conservados para esta finalidade pelo período de 1 (um) ano após recolha.

Tem o direito de:

- i) solicitar e receber todas as informações pertinentes a respeito do tratamento de dados pessoais efetuado pela Universidade do Minho;
- ii) solicitar o acesso aos seus dados pessoais;
- iii) retificar, apagar ou restringir o tratamento dos dados pessoais por parte da Universidade do Minho;

Tem ainda o direito a opor-se ao tratamento dos seus dados pessoais e/ou a retirar o consentimento com efeitos futuros, a qualquer altura, sem que daí lhe advenha qualquer consequência.

Caso retire o consentimento prestado, a Universidade do Minho, cessa imediatamente o tratamento efetuado para a finalidade em causa.

Tem igualmente o direito de apresentar queixa junto da autoridade de controlo competente, a Comissão Nacional de Proteção de Dados – CNPD, se considerar que o tratamento realizado aos dados pessoais viola os seus direitos e/ou as leis de proteção de dados aplicáveis

**Riscos:** O preenchimento dos inquéritos e as filmagens durante a realização das tarefas, com e sem o exoesqueleto, não acarentam qualquer tipo de risco. Contudo, a utilização do exoesqueleto, segundo estudos prévios, poderá causar algum desconforto momentâneo, sobretudo, na região do peito e das coxas. Mais ainda, a técnica de eletromiografia de superfície é frequentemente usada em humanos e acarreta riscos residuais para a sua saúde e bem-estar. O risco mais verificado noutros estudos deste tipo, mas pouco frequente, é a ocorrência momentânea de uma ligeira irritação da pele na zona dos elétrodo de eletromiografia. Tal facto será prevenido com a aplicação de um creme hidratante no final da recolha de dados. Todos os





outros riscos que poderá se encontrar exposto, são inerentes à normal realização das suas tarefas no seu posto de trabalho.

**Benefícios:** A sua participação neste estudo é voluntária, livre, específica, informada e explícita. Assim, estará a contribuir para que a sua empresa possa adquirir equipamentos que poderão tornar mais segura a realização das suas tarefas, bem como reduzir as suas dores musculares. E ainda, estará também a contribuir para um trabalho de investigação que sem a sua participação não seria possível desenvolver e, no final deste, terá acesso a todos os resultados obtidos. E sempre que necessário poderá contactar-nos para o esclarecimento de dúvidas.

**Declaração de anonimato:** Os resultados deste estudo serão publicados para informação e benefícios deste e de outros estudos, mas a sua identidade permanecerá sempre anónima. Os seus dados pessoais nunca serão publicados sem o seu consentimento, a não ser requerido por lei.

\_\_\_\_\_, \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_  
Diante do exposto, eu,  
\_\_\_\_\_, (Nome completo),  
concordo em participar de forma voluntária, livre, específica, informada e explícita no estudo anteriormente exposto. Mais ainda, cedo o meu contacto pessoal: contacto telefónico/e-mail (riscar o que não se aplica): \_\_\_\_\_, para efeitos de divulgação de resultados.

Assinatura: \_\_\_\_\_

Investigador responsável:

\_\_\_\_\_  
(André Cardoso)

Orientador responsável:

\_\_\_\_\_  
(Prof. Ana Colim)

Responsável na empresa:

\_\_\_\_\_  
(NOME)

## ANEXO II – QUESTIONÁRIO DE AVALIAÇÃO DE PERCEÇÕES DO UTILIZADOR DO EXOSQUELETO



Universidade do Minho  
Departamento de Produção e Sistemas

### Avaliação do usuário – APÓS a utilização do exoesqueleto Laevo®

Data: ____/____/20____	Nº Colaborador: _____
Nº do questionário _____	Sexo: _____
Idade: _____	Peso: _____
Fábrica: _____	Altura: _____
Posto/tarefa: _____	Área/Linha: _____
Tempo de utilização: _____	Equipa: _____

Nos itens que se seguem, selecione a opção que mais se adequa à sua experiência com o exoesqueleto Laevo®.

#### 1. Avaliação geral do uso do exoesqueleto

	Discordo totalmente	Discordo	Neutro	Concordo	Totalmente de acordo
1.1 O Laevo® limita a minha liberdade de movimentos	1	2	3	4	5
1.2 O Laevo® reduz a força que faço nas costas	1	2	3	4	5
1.3 Sinto alívio (descanso) quando uso o Laevo®	1	2	3	4	5
1.4 Penso que usar o Laevo® é benéfico para a minha saúde	1	2	3	4	5

#### 2. Avaliação da adequabilidade do uso do exoesqueleto à tarefa

	Discordo totalmente	Discordo	Neutro	Concordo	Totalmente de acordo
2.1 O Laevo® torna a tarefa mais fácil	1	2	3	4	5
2.2 O Laevo® dá-me suporte no desenvolvimento das minhas tarefas	1	2	3	4	5
2.3 O Laevo® melhorou o meu posto, e portanto o meu trabalho	1	2	3	4	5
2.4 O Laevo® interfere com as tarefas que tenho de realizar	1	2	3	4	5
2.5 O Laevo® não me incomoda para andar/caminhar o que necessito no meu posto	1	2	3	4	5
2.6 Usar o Laevo® facilita o movimento de cargas no meu posto	1	2	3	4	5

### 3. Esforço global com e sem o exoesqueleto

3.1 Por favor, indique a sua percepção do esforço realizado na tua tarefa com e sem o Laevo ®

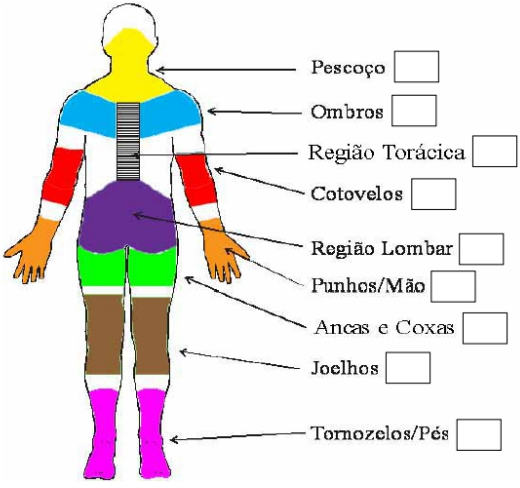
NÍVEL	ESFORÇO
0	Nenhum
1	Mínimo
2	Pouco
3	Moderado
4	Um pouco difícil
5	Difícil
6	Mais difícil
7	Muito difícil
8	Extremamente difícil
9	Esforço máximo
10	Fadiga Total

COM	SEM


### 4. Desconforto com uso do exoesqueleto

4.1 Sinto desconforto em alguma parte do corpo? Sim ☐ Não ☐

4.2 Em caso afirmativo, para as partes do corpo onde sentes desconforto, coloca um número de 0-10 conforme a escala da dor que se encontra abaixo da imagem (sendo que 0 = *sem dor* até 10 = *dor máxima*).



Pescoço   
 Ombros   
 Região Torácica   
 Cotovelos   
 Região Lombar   
 Punhos/Mão   
 Ancas e Coxas   
 Joelhos   
 Tornozelos/Pés

Sem dor LEVE MODERADA INTENSA Dor máxima  
 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10  
  
 Escala visual da dor



	Nunca	Raramente	Ocasionalmente	Frequentemente	Muito frequentemente
4.3 Com que frequência sentes desconforto durante a utilização do Laevo®	1	2	3	4	5

#### 5. Usabilidade do equipamento

	Discordo totalmente	Discordo	Neutro	Concordo	Totalmente de acordo
5.1 Colocar o Laevo ® é fácil	1	2	3	4	5
5.2 Retirar o Laevo ® é fácil	1	2	3	4	5
5.3 Colocar e retirar o Laevo ® será mais fácil com prática	1	2	3	4	5
5.4 O Laevo ® não me incomoda para realizar os movimentos habituais do meu trabalho	1	2	3	4	5
5.5 Posso aceder a todos os lugares necessários sem problemas com o Laevo ® colocado	1	2	3	4	5
5.6 Recomendaria o Laevo ® aos meus colegas	1	2	3	4	5

#### 6. Comentário livre:

Por favor, utiliza este espaço para escrever qualquer comentário sobre utilização, recomendações, ideias, potencial e possíveis aplicações do equipamento testado.

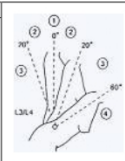
## ANEXO III – FOLHA DE CAMPO REBA

### FOLHA DE CÁLCULO REBA

#### GRUPO A: Tronco, pescoço e pernas

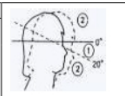
##### Tronco

Movimento	Pontuação	Mudar Pont.
Recto	1	+ 1 se há torção ou flexão lateral
0°-20° flexão 0°-20° extensão	2	
20°-60° flexão >20° extensão	3	
> 60° flexão	4	




##### Pescoço

Movimento	Pontuação	Mudar Pont.
0°-20° flexão	1	+ 1 se há torção ou flexão lateral
>20° flexão ou extensão	2	



##### Pernas

Movimento	Pontuação	Mudar Pont.
Peso bilateral, andando ou sentado	1	+ 1 se joelho(s) entre 30° e 60° flexão
Peso unilateral ou postura instável	2	+ 2 se joelho(s) > 60° flexão



Pontuação Quadro A

##### Carga/Força

0	1	2	+ 1
< 5 Kg	5 a 10 Kg	> 10 Kg	Choque ou rápido desencadeamento da força

PONTUAÇÃO A

#### QUADRO A

		Tronco					
Pernas		1	2	3	4	5	
Pescoço	1	1	1	2	2	3	4
		2	2	3	4	5	6
		3	3	4	5	6	7
		4	4	5	6	7	8
	2	1	1	3	4	5	6
		2	2	4	5	6	7
		3	3	5	6	7	8
		4	4	6	7	8	9
	3	1	3	4	5	6	7
		2	3	5	6	7	8
		3	5	6	7	8	9
		4	6	7	8	9	9

#### QUADRO B

Pulso		Braço						
		1	2	3	4	5	6	
Antebraço	1	1	1	1	3	4	6	7
		2	2	2	4	5	7	8
		3	2	3	5	5	8	8
	2	1	1	2	4	5	7	8
		2	2	3	5	6	8	9
		3	3	4	5	7	8	9

#### QUADRO C

		Pontuação B											
Pontuação A		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
		1	1	1	1	2	3	3	4	5	6	7	7
		2	1	2	2	3	4	4	5	6	6	7	8
		3	2	3	3	4	5	6	7	7	8	8	9
		4	3	4	4	5	6	7	8	8	9	9	9
		5	4	4	5	6	7	8	8	9	9	9	9
		6	5	5	6	7	8	8	9	9	10	10	10
		7	6	6	7	8	8	9	9	10	10	11	11
		8	7	7	8	9	9	10	10	10	11	11	11
		9	8	8	9	10	10	10	11	11	11	11	11
		10	9	9	10	11	11	11	11	11	12	12	12
		11	10	10	11	11	11	11	12	12	12	12	12
		12	11	11	11	12	12	12	12	12	12	12	12

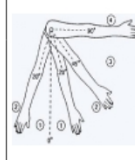
Correcção: + 1 se:

- Uma ou mais partes do corpo estáticas + 1 min.
- Acções repetidas mais de 4x por minuto
- A acção causa rápidas alterações à postura ou uma base instável

#### GRUPO B: Braços, antebraços e pulsos

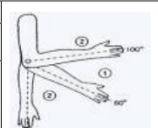
##### Braços

Movimento	Pontuação	Mudar Pont.
0°-20° flexão/ extensão	1	+ 1 se há abdução ou rotação
>20° extensão ou 20°-45° flexão	2	+ 1 se há elevação do ombro
45°-90° flexão	3	-1 se apoiado suportando o peso. Acção da gravidade.
>90° flexão	4	



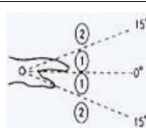
##### Antebraços

Movement	Score
60°-100° flexão	1
<60° flexão ou >100° flexão	2



##### Pulsos

Movimento	Pontuação	Mudar Pont.
0°-15° flexão/ extensão	1	+ 1 se há desvio lateral ou torção
>15° flexão/ extensão	2	



##### Pontuação Quadro B

#### Ligação - Coupling

0	1	2	3
Pega bem ajustada, pega de potência	Pega aceitável mas não ideal ou a ligação é aceitável por outra parte do corpo	Pega não aceitável apesar de possível	Pega difícil e insegura, sem pegos ou a ligação é inaceitável por outras partes do corpo

PONTUAÇÃO B

PONTUAÇÃO FINAL (REBA):

## ANEXO IV – EXEMPLO DE APLICAÇÃO DO MÉTODO REBA

Passos do método	Justificação	Pontuação	Correções	Pontuação Final
<b>Passo 1:</b> Tronco	Flexão de 25º (flexão 20-60º)	3	n.a.	3
<b>Passo 2:</b> Pescoço	Flexão de 31º (flexão >20º)	2	n.a.	2
<b>Passo 3:</b> Pernas	Apoiado numa só perna (peso unilateral)	1	n.a.	1
<b>Passo 4:</b> Pontuação quadro A	Pontuação de tronco, pescoço e pernas cruzados no quadro A	n.a.	n.a.	4
<b>Passo 5:</b> Carga/Força	Carga manipulada de 3,9 kg (carga <5kg)	0	n.a.	0
<b>Passo 6:</b> Pontuação A	Pontuação passo 4 + passo 5	4	n.a.	4
<b>Passo 7:</b> Braços	Flexão de 57º com abdução (flexão entre 45-90º; Correção: abdução)	3	+1	4
<b>Passo 8:</b> Antebraços	Flexão de 47º (Flexão <60º)	2	n.a.	2
<b>Passo 9:</b> Pulsos	Extensão de 23º com desvio lateral (Extensão de >15º; Correção: desvio lateral)	2	+1	3
<b>Passo 10:</b> Pontuação quadro B	Pontuação de braço, antebraço e cruzados no quadro B	n.a.	n.a.	7
<b>Passo 11:</b> Ligação	Pega aceitável, mas não ideal	1	n.a.	1
<b>Passo 12:</b> Pontuação B	Pontuação passo 10 + passo 11	8	n.a.	8
<b>Passo 13:</b> Pontuação quadro C	Pontuação A e B cruzadas no quadro C (Correção: a ação causa rápidas alterações à postura)	8	+1	9
<b>Pontuação final (REBA)</b>	Pontuação obtida do quadro C com a correção de atividade	n.a.	n.a.	9



## ANEXO V– PROTOCOLO DE RECOLHA E PROCESSAMENTO DE DADOS EMG


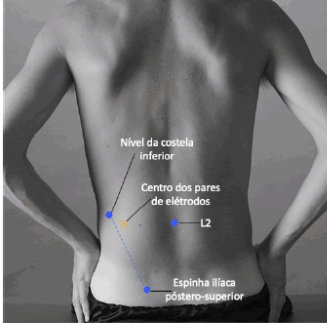


Universidade do Minho  
Departamento de Produção e Sistemas

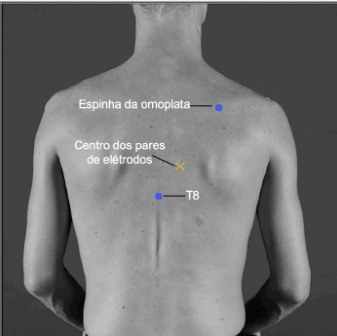
### Protocolo de recolha e processamento de dados EMG

1. Leitura, explicação e preenchimento do termo de consentimento livre e esclarecido.
  2. Explicação sobre a organização do teste.
  3. Recolha de dados de caracterização do participante (género, idade, altura e peso).
  4. Preparação do voluntário e do equipamento para a recolha dos dados de EMG. Disponibilização da t-shirt adaptada quando necessário.
- 4.1. Marcação do centro de colocação dos pares de elétrodos, de acordo com as orientações da Tabela 1. Repetir o mesmo procedimento de marcação em ambos os lados (direito e esquerdo). Os elétrodos de cada par têm de estar a uma distância de 2 cm.

**Tabela 1:** Músculos estudados por EMG e respetivos procedimentos de marcação do local de fixação dos elétrodos (adaptado de [www.seniam.org](http://www.seniam.org)).

Músculo	Localização do ponto de referência e do centro dos elétrodos	Posição adotada na marcação	Localização do centro dos elétrodos	Orientação elétrodos
Longíssimo eretor da espinha em L1 (lado esquerdo)		Sentado com ligeira flexão do tronco	A dois dedos de largura da apófise espinhosa de L1, sobre o ventre muscular	Vertical, paralelamente à coluna vertebral.
Iliocostal eretor da espinha em L2 (lado esquerdo)		Sentado com ligeira flexão do tronco	A um dedo de largura, no sentido medial, da linha da espinha ilíaca pósterio-superior ao ponto mais inferior da costela inferior ao nível de L2.	Segundo a linha entre a espinha ilíaca pósterio-superior e o ponto mais inferior da costela inferior.



<b>Trapézio inferior em T8 (lado direito)</b>		Sentado com as costas eretas e os braços pendurados verticalmente	A 2/3 na linha entre a espinha da escápula e a 8ª vértebra torácica.	Segundo a linha entre T8 e o acrômio.
---	---	---	--	---------------------------------------

4.2. Preparação da pele nas zonas de fixação dos eléttodos conforme indicações da Tabela 2. Estas zonas definem-se em torno do centro de colocação dos eléttodos perfazendo uma área de 30 mm<sup>2</sup>. Para além dessas áreas, tem de ser igualmente preparada a pele na região de fixação do eléttodo de referência (C7).

**Tabela 2:** Procedimento de preparação da pele nas zonas de fixação dos eléttodos.

Etapas de preparação da pele	Descrição do procedimento
1) Retirar pilosidades	Cortar com lâmina descartável possíveis pilosidades na área em torno do centro de colocação dos pares de eléttodos (cerca de 30mm <sup>2</sup> )
2) Limpar pele	Retirar células mortas da área indicada, passando 3 a 4 vezes uma lixa fina (com pressão ligeira até a pele ficar ligeiramente ruborizada). Terminar a limpeza com algodão embebido em álcool.






- Fixação dos eléttodos nas zonas descritas (pode ser auxiliada com o uso de fita adesiva, para evitar deslocações dos eléttodos).
- Aguardar 3 minutos antes de iniciar a recolha de sinais de EMG.
- Fixar os cabos aos eléttodos, ligar os cabos aos canais do eletromiógrafo e fixar o mesmo ao colaborador através da mola. A escolha dos canais para os eléttodos usados deve respeitar a ordem da Tabela 3.

**Tabela 3:** Atribuição dos canais eletromiográficos aos eléttodos utilizados

Canais do eletromiógrafo	Eléttodos de acordo com a zona de fixação
1	Longíssimo em L1 lado esquerdo
2	Iliocostal em L2 lado esquerdo
3	Trapézio inferior em T8 lado esquerdo
4	Longíssimo em Lx lado direito
5	Iliocostal em Lx lado direito
6	Trapézio inferior em T8 lado direito
G (Ground)	Eléttodo de referência fixado em C7





8. Verificar se o eletromiógrafo está sincronizado com o computador através do software *OpenSignals (r)evolution* usado na recolha dos dados (*Find and configure your device* → verificar se a opção *Enable* se encontra da cor azul). De igual modo, confirmar a frequência de amostragem, seleccionar os canais que serão utilizados (1000 Hz) e colocar a recolha para EMG.
9. No software de recolha seleccionar a designação (CMV, condição 1 e condição 2), data, hora e tempo da recolha de dados em offline (*Change OpenSignals Settings* → *Scheduling*) antes de cada recolha.
10. Recolha dos dados de EMG
  - 10.1. Solicitar que o participante realize os movimentos para recolha de CMV.
    - **Músculos eretores da coluna:** frontalmente encostado a uma parede realizar a extensão das costas e uma extensão das costas com inclinação lateral (direita e esquerda).
    - **Trapézios inferiores:** frontalmente encostado a uma parede realizar uma elevação seguida de abaixamento do braço.
  - 10.2. Solicitar que o participante realize a tarefa industrial na primeira condição seguida de um período de repouso. De seguida solicitar que o participante realize a tarefa industrial na segunda condição.
    - As duas condições em estudo são: realização da tarefa **com** e **sem** exoesqueleto.
    - A ordem realização da tarefa será alternada entre condições.
  - 10.3. Voltar a conectar o eletromiógrafo ao computador e exportar os dados (em formato *h5*) para computador através do software (*Download an acquisition from the memory card* →  ).
11. Processamento dos dados EMG
  - 11.1. Abrir o software *OpenSignals (r)evolution* e seleccionar o *Add on Muscle Load* (Start the file Viewer on the current file → *MUSCLELOAD*)
  - 11.2. Abrir o ficheiro *h5* com os dados de um participante em uma das condições testadas ( *Choose another file* (  ) )
  - 11.3. Normalizar os dados através da CMV (*Calculate from a file instead* → Seleccionar o período de recolha → ) 
  - 11.4. Criar a APDF (  )
  - 11.5. Exportar os resultados obtidos (  ) .

## ANEXO VI– *OUTPUTS* DOS TESTES ESTATÍSTICOS UTILIZADOS NA ANÁLISE DE DADOS ELETROMIOGRÁFICOS

### One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test

			LE	LD	IE	IE	TE	TD	LE	LD	IE	ID	TE	TD
			(s_exo)	(s_exo)	(s_exo)	(s_exo)	(s_exo)	(s_exo)	(c_exo)	(c_exo)	(c_exo)	(c_exo)	(c_exo)	(c_exo)
N			5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Normal Parameters <sup>a,b</sup>	Mean		35,20	42,80	28,60	26,20	12,00	11,40	34,40	39,00	29,00	22,60	11,40	8,80
	Std.		13,682	18,633	20,070	18,580	2,739	7,232	13,390	16,837	21,131	11,393	4,722	5,450
	Deviation													
Most Differences	Extreme	Absolute	,233	,240	,284	,347	,167	,212	,284	,239	,194	,200	,249	,211
		Positive	,233	,190	,284	,347	,137	,212	,284	,180	,194	,200	,249	,211
		Negative	-,167	-,240	-,218	-,192	-,167	-,188	-,158	-,239	-,172	-,149	-,176	-,144
Test Statistic			,233	,240	,284	,347	,167	,212	,284	,239	,194	,200	,249	,211
Asymp. Sig. (2-tailed)			,200 <sup>c,d</sup>	,200 <sup>c,d</sup>	,200 <sup>c,d</sup>	,049 <sup>c</sup>	,200 <sup>c,d</sup>	,200 <sup>c,d</sup>	,200 <sup>c,d</sup>	,200 <sup>c,d</sup>	,200 <sup>c,d</sup>	,200 <sup>c,d</sup>	,200 <sup>c,d</sup>	,200 <sup>c,d</sup>

a. Test distribution is Normal.

b. Calculated from data.

c. Lilliefors Significance Correction.

d. This is a lower bound of the true significance.

### Paired Samples Test

		Paired Differences					t	df	Sig. (2-tailed)
		Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference				
					Lower	Upper			
Pair 1	LE (s_exo) – LE (c_exo)	,800	7,855	3,513	-8,953	10,553	,228	4	,831
Pair 2	LD (s_exo) – LD (c_exo)	3,800	11,606	5,190	-10,611	18,211	,732	4	,505
Pair 3	IE (s_exo) – IE (c_exo)	-,400	3,362	1,503	-4,574	3,774	-,266	4	,803
Pair 4	ID (s_exo) – ID (c_exo)	3,600	9,839	4,400	-8,616	15,816	,818	4	,459
Pair 5	TE (s_exo) – TE (c_exo)	,600	4,037	1,806	-4,413	5,613	,332	4	,756
Pair 6	TD (s_exo) – TD (c_exo)	2,600	4,722	2,112	-3,263	8,463	1,231	4	,286

## ANEXO VII – RESULTADOS DA AVALIAÇÃO POSTURAL

Tarefa	Elemento	Condição	Identificação do trabalhador	Grupo A					Pontuação A	Grupo B					Pontuação B	REBA			Nível de risco
				Tronco	Pescoço	Pernas	quadro A	Carga/força		Braço	Antebraço	Pulso	Quadro B	Ligação		Quadro C	Atividade	Pontuação REBA	
Paletização	n.a.	Sem exoesqueleto	A	4	1	2	5	0	5	4	2	2	6	1	7	8	1	9	Alto
		Com exoesqueleto	A	4	2	2	6	0	6	4	2	2	6	1	7	9	1	10	Alto
Ajustamento de ripas de madeira	n.a.	Sem exoesqueleto	B	3	2	2	5	0	5	3	2	1	4	1	5	6	0	6	médio
		Com exoesqueleto	C	2	2	2	4	0	4	2	2	1	2	1	3	4	0	4	médio
		Sem exoesqueleto	B	3	1	1	2	0	2	4	2	1	5	1	6	4	0	4	médio
		Com exoesqueleto	C	3	2	1	4	0	4	3	2	1	4	1	5	5	0	5	médio
Inspeção visual de peças	1	Sem exoesqueleto	D	2	2	2	4	0	4	3	2	2	5	1	6	6	1	7	médio
			E	4	2	1	5	0	5	4	2	3	7	1	8	8	1	9	alto
			F	2	2	2	4	0	4	3	1	2	4	1	5	5	1	6	médio
			G	2	1	2	3	0	3	2	1	1	2	1	3	3	1	4	médio
		Com exoesqueleto	H	3	2	2	5	0	5	2	2	2	3	1	4	5	1	6	médio
			D	2	3	1	4	0	4	4	2	3	7	1	8	8	1	9	alto
			E	3	1	1	2	0	2	3	1	2	4	1	5	4	1	5	médio
			F	2	1	1	2	0	2	4	2	1	5	1	6	4	1	5	médio
	2	Sem exoesqueleto	G	2	1	2	3	0	3	3	2	2	5	1	6	5	1	6	médio
			H	2	2	1	3	0	3	1	1	3	2	1	3	3	1	4	médio
			D	3	3	1	5	0	5	3	2	1	4	1	5	6	1	7	médio
			E	3	3	1	5	0	5	1	2	1	1	1	2	4	1	5	médio
		Com exoesqueleto	F	2	2	1	3	0	3	2	1	1	1	1	2	3	1	4	médio
			G	2	2	1	3	0	3	3	2	1	4	1	5	4	1	5	médio
			H	3	3	1	5	0	5	1	2	2	2	1	3	4	1	5	médio
			D	3	3	1	5	0	5	3	2	1	4	1	5	6	1	7	médio
	3	Sem exoesqueleto	E	4	3	1	6	0	6	3	1	1	3	1	4	7	1	8	alto
			F	2	2	1	1	0	3	2	2	1	2	1	3	3	1	4	médio
			G	2	3	2	5	0	5	3	2	1	4	1	5	6	1	7	médio
			H	3	2	1	4	0	4	2	2	1	2	1	3	4	1	5	médio
		Com exoesqueleto	D	3	2	1	4	0	4	4	2	3	7	1	8	8	1	9	alto
			E	3	1	1	3	0	3	2	2	2	3	1	4	3	1	4	médio
			F	2	3	3	6	0	6	2	2	1	2	1	3	6	1	7	médio
			G	3	2	2	5	0	5	3	2	1	4	1	5	6	1	7	médio
		Sem exoesqueleto	H	3	2	1	4	0	4	2	2	2	3	1	4	4	1	5	médio
			D	3	1	2	4	0	4	3	2	3	5	1	6	6	1	7	médio
			E	4	3	2	7	0	7	4	2	3	7	1	8	10	1	11	muito alto
			F	3	1	2	4	0	4	4	2	1	5	1	6	6	1	7	médio
		Com exoesqueleto	G	3	3	2	6	0	6	3	1	2	4	1	5	8	1	9	alto
			H	3	3	1	5	0	5	3	2	1	4	1	5	6	1	7	médio